



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Παρασκευή, συντήρηση και έλεγχος συνθετικού  
αποβλήτου, με αναλυτικές τεχνικές, με σκοπό τη  
μελέτη πρότυπης μονάδας MBR

---



*ΒΛΑΣΣΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ*

*ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΖΑΜΤΖΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ*

*ΑΘΗΝΑ 2014*

---

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Ρύπανση και μόλυνση νερού .....	7
1.1 Πηγές ρύπανσης.....	8
1.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδατικών αποβλήτων.....	9
1.3 Αστικά απόβλητα.....	13
1.4 Βιομηχανικά απόβλητα.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων - νομοθεσία.....	16
2.1 Κλασικά συστήματα επεξεργασίας.....	16
2.2 Σύστημα επεξεργασίας MBR (Membrane BioReactor) .....	18
2.2.1 Χρήση της μονάδας MBR .....	19
2.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μονάδας .....	21
2.3 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων .....	22
2.3.1 Άρδευση αγροτικών περιοχών .....	23
2.3.2 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων.....	23
2.3.3 Ανακύκλωση στη βιομηχανία.....	24
2.3.4 Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος.....	24
2.3.5 Αστική χρήση.....	24
2.3.6 Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα .....	26
2.4 Νομοθεσία.....	27
2.4.1 Η κοινή υπουργική απόφαση 145116/2011 .....	27
2.4.2 Σκοπός.....	27
2.4.3 Πεδίο εφαρμογής .....	28
2.4.4 Τύποι επαναχρησιμοποίησης .....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Συνθετικά απόβλητα .....	37
3.1 Τύποι συνθετικών αποβλήτων .....	37
3.2 Μέθοδοι συντήρησης συνθετικών αποβλήτων .....	41
3.2.1 Ψύξη.....	41
3.2.2 Αποστείρωση .....	42
3.2.3 Δημιουργία όξινου (pH<3) ή αλκαλικού περιβάλλοντος (pH>11) .....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Αναλυτικές μέθοδοι ελέγχου παραμέτρων ρύπανσης σε νερά.....	44
4.1 Οπτικές μέθοδοι.....	44
4.1.1 Θολερομετρία .....	44
4.1.2 Ανακλασιμετρία (Reflectometer).....	44
4.1.3 Φασματομετρία.....	45
4.2 Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι.....	45
4.3 Ειδικές μέθοδοι.....	47
4.3.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD).....	47
4.3.2 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) .....	48
4.3.3 Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC ) .....	50



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Αναλυτικά όργανα .....	51
5.1 Αγωγιμόμετρο .....	51
5.2 Αυτόματος τιτλοδότης Orion .....	53
5.3 Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320 .....	54
5.4 Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S .....	55
5.5 Φωτόμετρο Hach DR 2010 .....	56
5.6 Φωτόμετρο Hack DR 2800 .....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Χημικά είδη .....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Παρασκευή και έλεγχος του συνθετικού αποβλήτου .....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Συντήρηση αποβλήτου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος – Αποτελέσματα και συζήτηση.....	63
8.1 Συντήρηση χωρίς ρύθμιση pH σε διάρκεια μιας εβδομάδας .....	63
8.1.2 Μεταβολή COD και διαλυτού COD .....	64
8.1.2 Μεταβολή ολικού αζώτου.....	65
8.1.3 Μεταβολή pH.....	66
8.1.4 Μεταβολή αγωγιμότητας .....	68
8.2 Συντήρηση με Αρχική Ρύθμιση pH=3 σε διάρκεια μιας εβδομάδας.....	70
8.2.1 Μεταβολή COD και διαλυτού COD .....	71
8.2.2 Μεταβολή ολικού αζώτου.....	72
8.2.3 Μεταβολή pH.....	73
8.2.4 Μεταβολή Αγωγιμότητας .....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – Συντήρηση αποβλήτου με ψύξη στους 4° C – Αποτελέσματα και συζήτηση.....	75
9.1 Συντήρηση χωρίς ρύθμιση pH σε διάρκεια μιας εβδομάδας .....	75
9.1.1 Μεταβολή COD και διαλυτού COD .....	76
9.1.2 Μεταβολή ολικού αζώτου.....	77
9.1.3 Μεταβολή pH.....	78
9.1.4 Μεταβολή αγωγιμότητας .....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	81
Βιβλιογραφία .....	82
Παράρτημα Α – Πίνακες .....	83
Παράρτημα Β – Περιεχόμενα πινάκων και διαγραμμάτων .....	87

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ήδη η παγκόσμια κοινότητα, και που οι προβλέψεις αναφέρουν ότι πρόκειται να αυξηθεί έντονα τις επόμενες δεκαετίες, είναι αυτό της έλλειψης πόσιμου νερού. Κάτι τέτοιο μπορεί να αντιμετωπιστεί με την επαναχρησιμοποίηση υδάτων με τρόπο ασφαλή για τη δημόσια υγεία και με γνώμονα πάντα την ποιότητα ζωής.

Το σύστημα MBR (MembraneBioReactor) υπόσχεται λύσεις για την επεξεργασία υδάτων, ιδιαίτερα σε μικρές επαρχιακές πόλεις και χωριά όπου οι ποσότητες των λυμάτων είναι περιορισμένες. Δίνει λύσεις σε προβλήματα όπως άσχημες οσμές και έχει υψηλές αποδόσεις. Σαφώς υπάρχουν και μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος, η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού για την λειτουργία του και η έλλειψη ερευνών που να εξασφαλίζει την απόδοσή του. Με την πάροδο του χρόνου όμως αυτά τα μειονεκτήματα δείχνουν να εξαλείφονται.

Τα συνθετικά απόβλητα είναι το πρώτο βήμα για τη μελέτη ενός πιλοτικού βιοαντιδραστήρα επεξεργασίας λυμάτων. Η παρούσα εργασία ασχολείται κυρίως με την προσπάθεια παρασκευής ενός αντιπροσωπευτικού συνθετικού αποβλήτου, που να προσομοιάζει τη σύσταση ενός αληθινού αποβλήτου. Επίσης ερευνά την συντήρησή του με τις μεθόδους της ψύξης και της δημιουργίας όξινου περιβάλλοντος, ώστε το απόβλητο να έχει πάντοτε σταθερή σύσταση κατά την είσοδό του στο υπό μελέτη σύστημα MBR.

Χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές τεχνικές για τον έλεγχο του συνθετικού αποβλήτου. Συγκεκριμένα η σταθερότητά του μετρήθηκε σε όρους COD, διαλυτού COD, ολικού αζώτου, pH και αγωγιμότητας. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά για την συντήρησή του συνθετικού με τη μέθοδο της ψύξης σε διάρκεια μιας εβδομάδας. Έτσι μπορεί να παρασκευάζεται απόβλητο μία φορά την εβδομάδα και όχι σε καθημερινή βάση για τις ανάγκες λειτουργίας της μονάδας MBR.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία που εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014 αποτελεί την διπλωματική μου εργασία .

Η εκπόνηση της παρούσας υλοποιήθηκε στο εργαστήριο Αναλυτικής χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους στάθηκαν δίπλα μου με κάθε τρόπο και με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερα απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Τζαμτζή για την ανάθεση του εξαιρετικά ενδιαφέροντος θέματος, την καθοδήγησή του, και τις πολύτιμες κατευθύνσεις που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Χατζηκωνσταντίνου για την αμέριστη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Το νερό είναι πολύτιμης σημασίας ουσία για τον άνθρωπο, δεδομένου ότι ο ανθρώπινος οργανισμός δεν αντέχει πάνω από μια εβδομάδα χωρίς αυτό. Στη δεκαετία του 1950, μόνο πέντε χώρες αντιμετώπιζαν πρόβλημα επάρκειας νερού, αλλά στο τέλος της δεκαετίας του 1990 είχαν σοβαρό πρόβλημα 26 χώρες με πληθυσμό πάνω από 300 εκατομμύρια. Οι προβλέψεις για το 2050 δείχνουν ότι 66 χώρες με πληθυσμό περίπου τα 2/3 του συνολικού πληθυσμού της γης θα εμφανίζουν σοβαρά προβλήματα έλλειψης νερού. Η ταυτόχρονη αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη και ο περιορισμός των πηγών κατάλληλου νερού (η αύξηση της ζήτησης του νερού είναι κατά μέσο όρο τρεις φορές πιο γρήγορη από την αύξηση του πληθυσμού) τόσο για πόση, όσο και όλες τις άλλες απαραίτητες χρήσεις του, δημιουργεί την υποχρέωση στην παγκόσμια κοινότητα να δει αυτόν τον πολύτιμο πόρο με την πρέπουσα προσοχή.

Ένας κάτοικος του νότιου ημισφαιρίου καταναλώνει περίπου 15-50 λίτρα νερού την ημέρα, ενώ ένας μέσος κάτοικος του βορείου ημισφαιρίου έχει μέση κατανάλωση νερού από 150 λίτρα ημερησίως τα οποία γίνονται 500, αν προστεθούν οι ανάγκες της βιομηχανίας<sup>[1]</sup>. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στις προσεχείς δεκαετίες η κατά κεφαλήν ποσότητα νερού σε παγκόσμιο επίπεδο αναμένεται να μειωθεί κατά 30%.

Όλα αυτά αναμένεται να προκαλέσουν προβλήματα διαφόρων εκφάνσεων στον παγκόσμιο πληθυσμό (δίψα, ασθένειες, κακή υγιεινή, έλλειψη τροφής), και αναζητούνται τρόποι τόσο για την άμβλυνση των επιπτώσεων των παραπάνω, όσο και για την ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος.

Είναι εξαιρετικά σημαντικό ότι σήμερα το 80% περίπου του διαθέσιμου πόσιμου νερού στον πλανήτη χρησιμοποιείται στη γεωργία, το 8% στη βιομηχανία και μόνο 10% προορίζεται για οικιακή κατανάλωση. Αν δε, λάβουμε υπ' όψη μας ότι οι σύγχρονες μέθοδοι καθαρισμού μπορούν να συμβάλλουν ώστε να μειωθούν οι ανάγκες για νερό στη γεωργία κατά 10-50%, στη βιομηχανία κατά 40-90% και στις πόλεις κατά το 1/3 χωρίς υποβίβαση του βιοτικού επιπέδου, συμπεραίνουμε την τεράστια σημασία που έχουν, και που θα έχουν στο μέλλον, οι μέθοδοι αυτοί. Είναι ουσιώδες λοιπόν για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους, να γίνουν συστηματικές και αυστηρά επιστημονικές μελέτες για την βελτιστοποίηση αυτών των μεθόδων.

Το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό ανά την υφήλιο και θα αποτελέσει αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις και πιθανώς ακόμα και ένοπλες συρράξεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σχέδιο για χτίσιμο φράγματος στους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη από την Τουρκία (Πρόγραμμα Νοτιοανατολικής Ανατολίας) που κατά το παρελθόν οδήγησε την Συρία και το Ιράκ να διαμαρτυρηθούν εντόνως στην Τουρκική κυβέρνηση, διότι το φράγμα θα περιόριζε τα αποθέματα νερού που θα κατέληγαν σ' αυτές τις χώρες. Το πρόγραμμα αυτό δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί λόγω διακοπής της χρηματοδότησης του έργου από την Παγκόσμια Τράπεζα εξ αιτίας της μη υπογραφής οριστικής συμφωνίας μεταξύ των τριών Κρατών.<sup>[1]</sup>

Πολλοί αναλυτές έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος. Με αυτό το δεδομένο, χώρες του Αρκτικού Κύκλου όπως ο Καναδάς και η Ρωσία με την παγωμένη Σιβηρία, διαθέτοντας τεράστια και πλεονάζοντα αποθέματα νερού, αναμένεται να αναρριχηθούν οικονομικά, ανταγωνιζόμενες τις πιο πλούσιες χώρες του πλανήτη (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Κίνα, Ευρωπαϊκή Ένωση).

Στην κατεύθυνση της διατήρησης της υφιστάμενης ποιότητας των Υδάτων καθώς και της βελτίωσης αυτής, οι κυβερνήσεις των κρατών και διάφοροι διεθνείς οργανισμοί έχουν συστήσει και προτείνει διάφορες μεθόδους και πρακτικές, τόσο για τον καθαρισμό των υδατικών πόρων από κάθε ανθρώπινη επιβάρυνση, όσο και για την διαπίστωση, με επιστημονικά μέσα, της ακριβούς σύστασης και ποιότητας των υδάτων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, μέσω της E.P.A., και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω του Συμβουλίου της Ευρώπης, έχει καθοριστεί συγκεκριμένο νομικό πλαίσιο για την προστασία των Υδάτων από κάθε επιβαρυντική ανθρώπινη δραστηριότητα και για την αποτελεσματική διαχείρισή τους, καθώς επίσημα το νερό αντιμετωπίζεται ως μέγιστη παγκόσμια κληρονομιά και όχι ως εμπορικό προϊόν.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Ρύπανση και μόλυνση νερού

Με τον όρο "Ρύπανση" νοείται οποιαδήποτε εισαγωγή ή διασπορά στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) είτε:

- 1) ενώσεων και ουσιών σε συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να καθιστούν βλαβερές, επικίνδυνες και τοξικές για τον άνθρωπο καθώς επίσης και ικανές να διαταράξουν ανεπανόρθωτα μια ισορροπία.
- 2) ενέργειας όπως θερμότητα, φως ή θόρυβος.

Με τον όρο "Μόλυνση" νοείται οποιαδήποτε εισαγωγή ή διασπορά στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) παθογόνων μικροοργανισμών σε συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να καθιστούν επικίνδυνες για τον άνθρωπο ή ικανές να διαταράξουν ανεπανόρθωτα μια ισορροπία.

Οι παραπάνω ορισμοί είναι γενικοί και αφορούν όλα τα είδη ρύπανσης. Εμείς θα ασχοληθούμε με τα υγρά απόβλητα τα οποία αποτελούν σήμερα μια από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης και μόλυνσης του περιβάλλοντος. Τα υγρά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9% από νερό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο, είτε στις συνηθισμένες οικιακές χρήσεις (πλύσιμο, καθαριότητα), είτε στις βιομηχανικές παραγωγικές διαδικασίες, με αποτέλεσμα να έχει υποστεί σημαντική ποιοτική υποβάθμιση. Η υποβάθμιση αυτή οφείλεται στο γεγονός, ότι κατά τη χρήση του, το νερό γίνεται αποδέκτης πολλών χημικών και βιολογικών παραπροϊόντων, η απόρριψη των οποίων στο περιβάλλον δημιουργεί πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Τα υγρά απόβλητα δεν είναι τίποτα άλλο παρά νερό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο σε μια πληθώρα εφαρμογών. Οι κύριες πηγές προέλευσής τους είναι οι κατοικίες, τα ιδρύματα και οι διάφορες εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η έντονη συγκέντρωση πληθυσμών στα αστικά κέντρα και η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη οδήγησε σε υπερκατανάλωση νερού από τον άνθρωπο και σε ταχεία μετατροπή του πολύτιμου αυτού αγαθού, ίσως του πολυτιμότερου στον πλανήτη, σε «βρώμικο νερό» δηλαδή σε απόβλητο.

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν ρυπαντικές και μολυσματικές ουσίες και η απ' ευθείας διάθεσή τους σε έναν φυσικό, συνήθως υδάτινο αποδέκτη, εγκυμονεί κινδύνους τόσο για τον αποδέκτη όσο και για τα υπόλοιπα έμβια όντα, κυρίως όμως για τον άνθρωπο.



Για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας είναι απαραίτητες οι θεμελιώδεις γνώσεις των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων, της επίδρασής τους στο περιβάλλον, των μεθόδων επεξεργασίας που μπορούν να εφαρμοστούν για την απομάκρυνση και την εξουδετέρωση αυτών των συστατικών και των μεθόδων για την αξιοποίηση ή την ασφαλή διάθεση των στερεών που παράγονται κατά την επεξεργασία τους.

### ***1.1 Πηγές ρύπανσης***

*Σημειακές πηγές ρύπανσης χαρακτηρίζονται όλες οι πηγές που εκβάλλουν ρύπους σε εντοπισμένα σημεία. Αυτά είναι τα άκρα αγωγών, τάφρων ή αποχετευτικών δικτύων που καταλήγουν σε υδάτινους αποδέκτες. Σε αυτή την κατηγορία ταξινομούνται οι βιομηχανικές μονάδες, οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων που απομακρύνουν μέρος των ρύπων, ενεργά ή εγκαταλειμμένα ορυχεία, πετρελαιοπηγές και τάνκερ. Επειδή βρίσκονται σε συγκεκριμένο μέρος, συνήθως σε αστικές περιοχές, είναι σχετικά εύκολος ο εντοπισμός τους και κατά συνέπεια η παρακολούθησή τους.*

*Μη σημειακές πηγές ρύπανσης είναι πηγές οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν σε κανένα ειδικό σημείο απορροής. Είναι συνήθως μεγάλες περιοχές που ρυπαίνουν το νερό με επιφανειακή απορροή, υπεδάφια ροή ή απόθεση στην ατμόσφαιρα. Τέτοιες είναι, για παράδειγμα, οι απορροές χημικών στα επιφανειακά νερά και η διαρροή τους στο έδαφος μέσα από χωράφια, υλοτομημένα δάση, δρόμους και αποχετεύσεις. Εκτιμάται ότι σε χώρες με αγροτική παραγωγή η γεωργική ρύπανση, υπό τη μορφή στερεών αποθέσεων, ανόργανων λιπασμάτων, κοπριάς, αλάτων διαλυμένων στο νερό άρδευσης και παρασιτοκτόνων, είναι υπεύθυνη για πάνω από το 60% των συνολικών ρύπων που φτάνουν σε ποτάμια και λίμνες. Ο έλεγχος της ρύπανσης αυτού του τύπου είναι πολύ δυσχερής, επειδή είναι δύσκολο να εντοπιστούν οι τόσο διαφορετικές και διεσπαρμένες πηγές ρύπανσης.*

## 1.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδατικών αποβλήτων

Τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν κυρίως οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, έλαια, φαινόλες, επιφανειακά τασιενεργές ουσίες), ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο, διάφορα άλατα), και διάφορα στερεά. Περιέχουν επίσης ουσίες οι οποίες βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμούς, τοξικές ουσίες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία καθώς και διαλυμένα αέρια, όπως αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) κ.ά.

Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών.

Οι ρύποι του νερού διακρίνονται σε:

- συμβατικούς,
- μη συμβατικούς,
- θερμικούς και
- ρύπους (μολυντές) από μικρόβια.

Στους συμβατικούς ρύπους ανήκουν ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οργανική ύλη (οργανικές ουσίες), ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά  $\text{NH}_4^+$ , νιτρώδη  $\text{NO}_2^-$ , νιτρικά άλατα  $\text{NO}_3^-$ ), ενώσεις του φωσφόρου (κυρίως φωσφορικά άλατα  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Στους μη συμβατικούς ρύπους του νερού περιλαμβάνονται τα βαρέα μέταλλα (Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn, κ.λ.π.), οι τοξικές οργανικές ενώσεις και ουσίες όπως το αρσενικό (As), τα θειούχα ( $\text{S}_2^-$ ), τα κυανιούχα ( $\text{CN}^-$ ) και τα ραδιενεργά υλικά. Οι τοξικές οργανικές ενώσεις είναι ουσίες οι οποίες έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Σπουδαιότερες απ' αυτές είναι τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα, τα οποία καταλήγουν στο νερό λόγω της ευρείας χρήσης τους στη γεωργία και στη βιομηχανία, οι διοξίνες, οι οποίες παράγονται εκεί όπου υπάρχουν καύσεις ή διεργασίες με χλώριο, οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), οι φαινόλες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH's) και τα τριαλογονομεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM), τα οποία συνήθως σχηματίζονται κατά την προαπολύμανση του νερού, την απολύμανση των υγρών αποβλήτων κ.λ.π.

Η θερμική ρύπανση του νερού προέρχεται κυρίως από τα θερμά απόβλητα βιομηχανιών και μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη δημιουργώντας δυσάρεστες και μη ανεκτές καταστάσεις στα υδατικό οικοσύστημα.

Στους μολυντές (μικρόβια) περιλαμβάνονται διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί που μπορούν να προκαλέσουν μολυσματικές ασθένειες στον άνθρωπο αλλά και στα ζώα.

Πίνακας 1: Ρύπανση και μόλυνση νερού<sup>[2]</sup>.

<b>Ρύπανση – Επιβάρυνση του νερού με ύλη ή ενέργεια</b>			<b>Μόλυνση - Επιβάρυνση με παθογόνους μικροοργανισμούς</b>
<b>Συμβατικοί ρύποι</b>	<b>Μη συμβατικοί ρύποι</b>	<b>Θερμική ρύπανση</b>	<b>Μικροοργανισμοί</b>
Οργανική ύλη	Βαριά μέταλλα	Θερμά απόβλητα νερά βιομηχανιών	Ιοί
Ενώσεις του αζώτου ( $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ )	Τοξικές οργανικές ενώσεις Ζιζανιοκτόνα, Εντομοκτόνα, Παρασιτοκτόνα, Διοξίνες, Φαινόλες, Χλωροφαινόλες, Χλωριωμένοι HC, THM, Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH)		Βακτήρια
Ενώσεις του φωσφόρου ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Αρσενικό (AS)		Μύκητες
	Θειούχα ( $\text{S}_2^-$ )		Πρωτόζωα
	Κυανιούχα ( $\text{CN}^-$ )		Έλμινθες
	Ραδιενεργά στοιχεία		

Επειδή πρακτικά και οικονομικά είναι αδύνατη η ακριβής ανάλυση του μολυσμένου νερού σε συγκεκριμένους ρύπους, έχουν επικρατήσει κάποια συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ο προσδιορισμός και η συνεχής παρακολούθηση αυτών των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων είναι απολύτως απαραίτητος προκειμένου να καθοριστούν τα στάδια και ο βαθμός επεξεργασίας τους και να ελεγχθεί η επίτευξη των στόχων και των απαιτήσεων για την ασφαλή διάθεσή τους στο περιβάλλον.

Είναι δε επιστημονικά αποδεκτό το γεγονός ότι η ρύθμιση αυτών των παραμέτρων αρκεί για να γνωρίζουμε τι συμβαίνει στα ύδατα χωρίς να ξέουμε ακριβώς τους συγκεκριμένους ρύπους που περιέχουν. Τα χαρακτηριστικά αυτά κατατάσσονται σε *φυσικά, χημικά και βιολογικά*:

#### **Φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων**

- **Θερμοκρασία:** Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.
- **Αγωγιμότητα:** Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για γεωργική χρήση.
- **Θολότητα:** Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής.
- **Διαπερατότητα:** Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV.
- **Χρώμα:** (Ανοιχτό καφέ, γκρι, μαύρο). Παράμετρος με την οποία αποτιμάται η κατάσταση των λυμάτων, δηλαδή φρέσκα λύματα ή λύματα που έχουν υποστεί σήψη.
- **Οσμή:** Παράμετρος με την οποία καθορίζεται εάν οι οσμές αποτελούν πρόβλημα.
- **Στερεές ουσίες:** (Αιωρούμενες, Επιπλέουσες, Καθιζάνουσες, Αδιάλυτες, Διαλυμένες) και κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

#### **Χημικά (ανόργανα) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων**

- **pH:** Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.
- **Χλωριούχα:** Παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση (άρδευση).
- **Αζωτούχες ενώσεις:** Χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης.
  - Ελεύθερη αμμωνία ( $\text{NH}_4^+$ )
  - Οργανικό άζωτο
  - Άζωτο Kjeldahl
  - Νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ )
  - Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )



- **Φωσφορικές ενώσεις:** Χρησιμοποιούνται ως μέτρο παρουσίας των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης
  - Ανόργανος φώσφορος
  - Οργανικός φώσφορος
  - Ολικός φώσφορος
- **Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ):** Παράμετρος για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών και για την εκτίμηση της «επεξεργασιμότητας» της ιλύος.
- **Μέταλλα (Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn):** Για την εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση και για την εκτίμηση της τοξικότητας. Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα για μερικές βιολογικές διεργασίες.
- **Διάφορα αέρια ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ):** Παρουσία / απουσία συγκεκριμένων αερίων.

#### **Χημικά (οργανικά) χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων**

- **C-BOD, Biochemical Oxygen Demand, Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο:** Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **N-BOD, Biochemical Oxygen Demand, Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο:** Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **COD, Chemical Oxygen Demand, Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο:** Το οξυγόνο που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- **TOC, Total Organic Carbon, Ολικός Οργανικός Άνθρακας:** Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD, αλλά πολύ σπάνια επειδή αφορά μέτρηση με πολύ μεγάλη ευαισθησία, δηλαδή πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης.

## **Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων**

- **Ολικά Κολοβακτηριοειδή. Total Coliforms, TC και Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων, Fecal Coliforms, FC:** Για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων.
- **Ειδικοί μικροοργανισμοί (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Έλμινθες):** Για την εκτίμηση της παρουσίας των συγκεκριμένων μικροοργανισμών που συνδέονται με την λειτουργία της Ε.Ε.Λ.(Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων) και την επαναχρησιμοποίηση της εκροής.
- **Τοξικότητα:** Χωρίζεται σε οξεία (άμεση) τοξικότητα (TUA) και χρόνια Τοξικότητα (TUC).

### **1.3 Αστικά απόβλητα**

Λύματα είναι τα απόνερα αστικής προέλευσης. Αποτελούνται από νερό που έχει χρησιμοποιηθεί βιολογικά από τους ανθρώπινους οργανισμούς και απορρίπτεται σαν έκκριμα ή απόκριμα (κόπρανα, ούρα, κτλ.) και από νερό που έχει χρησιμοποιηθεί στις συνηθισμένες οικιακές χρήσεις (πλυσίματα, καθαριότητα, κτλ.).

Η μέση ποσότητα που αποχετεύει ο άνθρωπος την ημέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η αφθονία ή η έλλειψη νερού στο σπίτι και την περιοχή, το κόστος του νερού, το πολιτιστικό επίπεδο, την οικονομική κατάσταση.

Τα λύματα παρουσιάζονται σαν πολυφασικό μίγμα, στο οποίο συνυπάρχουν στερεά, τέλεια διαλύματα, ελαιώδη υγρά και κολλοειδείς διασπορές. Η κύρια μάζα των λυμάτων είναι νερό. Το οργανικό περιεχόμενο των λυμάτων αποτελείται από πρωτεΐνες (40-60%), υδατάνθρακες (25-50%) και λιπαρές ενώσεις (5-10%). Οι οργανικές αυτές ενώσεις συνυπάρχουν με τα προϊόντα αποικοδόμησής τους που είναι: αμινοξέα, αμμωνία, υδρόθειο, αλκοόλες, λιπαρά οξέα, φαινόλες, ινδόλη, διοξειδίο του άνθρακα, μεθάνιο, υδρογόνο, νιτρικά και νιτρώδη άλατα, θείο και θειικά άλατα καθώς και διάφορες άλλες οργανικές ενώσεις, όπως απορρυπαντικά και άλατα (ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά κ.ά.).

Το pH των λυμάτων είναι ελαφρώς όξινο. Η θερμοκρασία τους είναι μερικούς βαθμούς μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος το χειμώνα και κάπως κατώτερη το καλοκαίρι.

Πίνακας 2: Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων (mg/l)<sup>[3]</sup>.

Παράμετρος	Ισχυρά	Μεσαία	Αδύνατα
Ολικά στερεά	1200	720	350
BOD	400	220	110
COD	1000	500	250
TOC	290	160	80
Ολικό Άζωτο	85	40	20
Ολικός Φώσφορος	15	8	4
Χλωρικά	100	50	30
Θειικά	50	30	20

Πίνακας 3: Σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας<sup>[4]</sup>.

Αστικά κέντρα	Παράμετροι			
	Αιωρούμενα Στερεά(mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	COD (mg/l)	Ολικό Άζωτο(mg/l)
Βόλος	300	330	720	56
Καβάλα	282	355	750	43
Αικατερίνη	230	280	450	35
Κως	300	240	620	45
Σπάρτη	230	323	700	31

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η κατάταξη των Metcalf and Eddy τυπικών αστικών αποβλήτων σε ισχυρά, μεσαία και αδύνατα. Στον πίνακα 3 βλέπουμε τις παραμέτρους αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας.

Τα αστικά ανεπεξέργαστα λύματα αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες (40 – 60%), υδρογονάνθρακες (25 – 50%), λιπίδια (10%), ουρία και από ένα μεγάλος πλήθος μετάλλων και ιχνοστοιχείων (As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, W, V, Zn, ενώσεις του βενζολίου, χλωριωμένες ενώσεις, φαινόλες). Τα σημαντικότερα θρεπτικά των αστικών λυμάτων είναι το άζωτο και ο φώσφορος. Το άζωτο των οικιακών λυμάτων βρίσκεται κυρίως με τη μορφή της ουρίας καθώς και στα κόπρανα και σε άλλες οργανικές ύλες. Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα οικιακά λύματα μπορεί να ποικίλει από 20 – 70 mg/l. Σε νωπά λύματα, το αμμωνιακό άζωτο, που βρίσκεται με την μορφή ιόντων αμμωνίου και αμμωνίας, είναι περίπου το 60% του ολικού αζώτου. Νιτρώδη και νιτρικά, οξειδωμένες δηλαδή μορφές αζώτου, βρίσκονται σε ελάχιστες συγκεντρώσεις στα λύματα. Το οργανικό άζωτο των λυμάτων και η ουρία υδρολύονται εύκολα σε αμμωνιακό άζωτο, έτσι ώστε σε λύματα που παραμένουν επί σημαντικό διάστημα στο δίκτυο, το ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου να φτάνει ή και να ξεπερνά το 80% του ολικού αζώτου.

Στα αστικά λύματα η ποσότητα του φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα κυμαίνεται από 2,5 έως 4 g. Σημαντικό ποσοστό από τις ποσότητες αυτές (μέχρι και 50 %) οφείλεται στη χρήση απορρυπαντικών.

Οι παραγόμενες ποσότητες αστικών λυμάτων παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα και εκτιμάται πως η μέση ημερήσια παραγωγή ανά κάτοικο κυμαίνεται περίπου στα 160 με 170 λίτρα, με την προϋπόθεση ότι η εφαρμοζόμενη πολιτική διαχείρισης του νερού δεν ευνοεί την υπερκατανάλωσή του. Επομένως, για συγκεκριμένο πληθυσμό μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί η παραγόμενη ποσότητα λυμάτων.

#### ***1.4 Βιομηχανικά απόβλητα***

1. «Λύματα» καλούνται εν γένει τα απόβλητα υγρά των κατοικιών, ιδρυμάτων, εργοστασίων ή άλλων εγκαταστάσεων.
2. «Βιομηχανικά απόβλητα», καλούνται τα απόβλητα υγρά των διαφόρων βιομηχανιών ή άλλων εγκαταστάσεων, τα οποία περιέχουν υπολείμματα των χρησιμοποιούμενων ή των παραγόμενων υλών. Στα βιομηχανικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται αυτά που προέρχονται από τους χώρους εξυπηρέτησης προσωπικού όπως αποχωρητήρια, μαγειρεία, πλυντήρια και τα λοιπά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων - νομοθεσία

Η επεξεργασία λυμάτων είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον. Υπάρχει μεγάλη συζήτηση για το πώς μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί το επεξεργασμένο νερό. Η μόνη σίγουρη πρόταση, που δεν περιέχει αμφιβολίες σε σχέση με την ασφάλεια των ανθρώπων και του περιβάλλοντος, είναι η χρήση του ως νερό ψύξης σε βιομηχανίες.

### **2.1 Κλασικά συστήματα επεξεργασίας**

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει έργα για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεσή τους. Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης, το οποίο πολλές φορές δέχεται και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Μπορεί ακόμα, υπό προϋποθέσεις, να δέχεται και κάποιες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων τα οποία όμως έχουν οπωσδήποτε υποστεί κάποιου είδους προεπεξεργασία. Όλο το δίκτυο του συστήματος αποχέτευσης συμβάλλει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α.) ο οποίος καταλήγει σε μια *Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.)*, όπου τα λύματα υφίστανται επεξεργασία με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων συστατικών τους.

Πολλές φορές στις Ε.Ε.Λ. καταλήγουν και βοθρολύματα με τη βοήθεια βυτιοφόρων οχημάτων, αφού ακόμα και σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού σε διάφορες χώρες, αλλά ιδιαίτερα στις λιγότερο αναπτυγμένες, δεν είναι συνδεδεμένο σε κάποιο δίκτυο αποχέτευσης και εξυπηρετείται με σηπτικούς κυρίως βόθρους.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν από τη διάθεσή τους αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις στους αποδέκτες, διαφυλάσσει την οικολογική ισορροπία και προστατεύει το περιβάλλον. Οι μέθοδοι επεξεργασίας με φυσικές δυνάμεις είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες, ενώ οι μέθοδοι κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές και βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές και βιολογικές διεργασίες.

Τα κύρια στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι τα εξής:

- **Προεπεξεργασία**, κατά την οποία απομακρύνονται υλικά όπως πανιά, χαλίκια, άμμος, μικρά τεμάχια ξύλου και πλαστικού, λάδια και λίπη τα οποία συνήθως προκαλούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό και προβλήματα στη συντήρηση και τη λειτουργία της Ε.Ε.Λ.
- **Πρωτοβάθμια επεξεργασία**, κατά την οποία απομακρύνεται ένα μέρος των αιωρούμενων στερεών και ένα μέρος των οργανικών ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με το φυσικό φαινόμενο της καθίζησης.
- **Δευτεροβάθμια επεξεργασία**, κατά την οποία απομακρύνονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες και τα αιωρούμενα στερεά με τη χρήση βιολογικών και χημικών διεργασιών. Σημειώνεται ότι και η απολύμανση περιλαμβάνεται στον τυπικό ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.
- **Τριτοβάθμια επεξεργασία**, κατά την οποία απομακρύνονται οι εναπομείνουσες από την δευτεροβάθμια επεξεργασία αιωρούμενες ουσίες, συνήθως με χρήση μέσου διήθησης.
- **Προχωρημένη επεξεργασία**, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων αλλά και των διαλυμένων ουσιών που παραμένουν στα απόβλητα μετά τη συνηθισμένη βιολογική επεξεργασία, όταν αυτή απαιτείται σε διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού. Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, βιολογικών και χημικών διεργασιών και συνήθως περιλαμβάνει διήθηση, χρήση μεμβρανών, αντίστροφη ώσμωση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα ή ιοντοεναλλαγή.
- **Απολύμανση**, για την εξουδετέρωση παθογόνων μικροοργανισμών, με χρήση χλωρίου ή ακτινοβολίας.

Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης άρχισαν να κατασκευάζονται στην Ευρώπη πριν από 100 περίπου χρόνια. Τη δεκαετία του 1930 ξεκίνησε στην Ευρώπη η κατασκευή των πρώτων Ε.Ε.Λ. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες Ε.Ε.Λ. σε όλες σχεδόν τις πόλεις της Ελλάδας, οι οποίες περιλαμβάνουν πολλά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και κάθε στάδιο επεξεργασίας περιλαμβάνει περισσότερες από μια διεργασίες.

## **2.2 Σύστημα επεξεργασίας MBR (*Membrane BioReactor*)**

Το πρόβλημα της επεξεργασίας λυμάτων σε τουριστικές περιοχές της χώρας μας είναι κυρίως ο απαιτούμενος χώρος, η αισθητική επίδραση στο άμεσο περιβάλλον και η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων. Η μέχρι τώρα σχετική τεχνολογία έχει λύσει το πρόβλημα της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων αλλά με απαίτηση μεγάλης έκτασης και αύξησης του κόστους κατασκευής και κυρίως του κόστους λειτουργίας - συντήρησης. Όμως το φλέγον πρόβλημα για μια τουριστική περιοχή είναι η απαίτηση μεγάλων εκτάσεων που χρειάζονται, για τα κλασσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, όπως είναι το σύστημα της ενεργού ιλύος. Πέραν τούτου, δεν πρέπει να αγνοηθεί και η παραμόρφωση της τουριστικής εικόνας που παρουσιάζει μια κλασσική μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων, αλλά και βέβαια οι οσμές και ο θόρυβος που παράγει.

Τα παραπάνω αποτελούν την κύρια αιτία της μη κοινωνικής αποδοχής μιας τέτοιας κλασσικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με αποτέλεσμα την δυσχέρεια στην εξεύρεση χώρου. Το πρόβλημα διογκώνεται με την απαίτηση, για αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, καθ' όσον απαιτούνται περισσότερες της μιας μονάδες επεξεργασίας λυμάτων για έναν εκτεταμένο Δήμο.

Για παράδειγμα, μια κλασσική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων για 10.000 ισοδύναμους κατοίκους απαιτεί έκταση περίπου 5 στρεμμάτων, ενώ για 17.000 απαιτείται έκταση περίπου 8-9 στρεμμάτων. Δεδομένου δε ότι πολλές φορές οι παραπάνω εγκαταστάσεις επιδρούν αρνητικά στο τοπίο της περιοχής, η τοπική κοινωνία κατά κανόνα απορρίπτει τις -κατά τα άλλα- λογικές τοποθεσίες τέτοιων μονάδων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η καθυστέρηση υλοποίησης μιας τέτοιας κλασσικής μονάδας, στην καλύτερη περίπτωση ή η επιλογή πολύ απομακρυσμένου χώρου με ό,τι αυτό συνεπάγεται ή τέλος το πλήρες ναυάγιο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της επεξεργασίας των λυμάτων. Λύση στα παραπάνω προβλήματα δίνει η νέα τεχνολογία με χρήση μεμβρανών, όπως είναι η μέθοδος Membrane BioReactor (MBR).

Η μέθοδος MBR είναι κατ' ουσίαν συγκερασμός ενεργού ιλύος και διύλισης. Σαν αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή απαιτεί πολύ μικρό χώρο, σε σύγκριση με την ενεργό ιλύ, δίνει πολύ καλύτερα ποιοτικά αποτελέσματα και μπορεί να «εγκλωβισθεί» σε κτιριακή εγκατάσταση έκτασης ίσης περίπου με το 1/10 της απαιτούμενης για μια κλασσική μονάδα ενεργού ιλύος. Στο παρελθόν δεν υπήρχαν συστήματα MBR και η τεχνολογία ήταν άγνωστη στην αγορά των μονάδων επεξεργασίας. Οι κύριοι λόγοι ήταν:

- Η μέθοδος δεν είχε δοκιμαστική εμπειρία
- Υψηλά κόστη κατασκευής και κυρίως λειτουργίας (Μεμβράνες - Ενέργεια).
- Απαίτηση για ειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας
- Άγνωστες οι απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης
- Άγνωστος ο ρυθμός απόρριψης (αντικατάστασης) των μεμβρανών
- Μη απαίτηση υψηλών βαθμών απόδοσης.

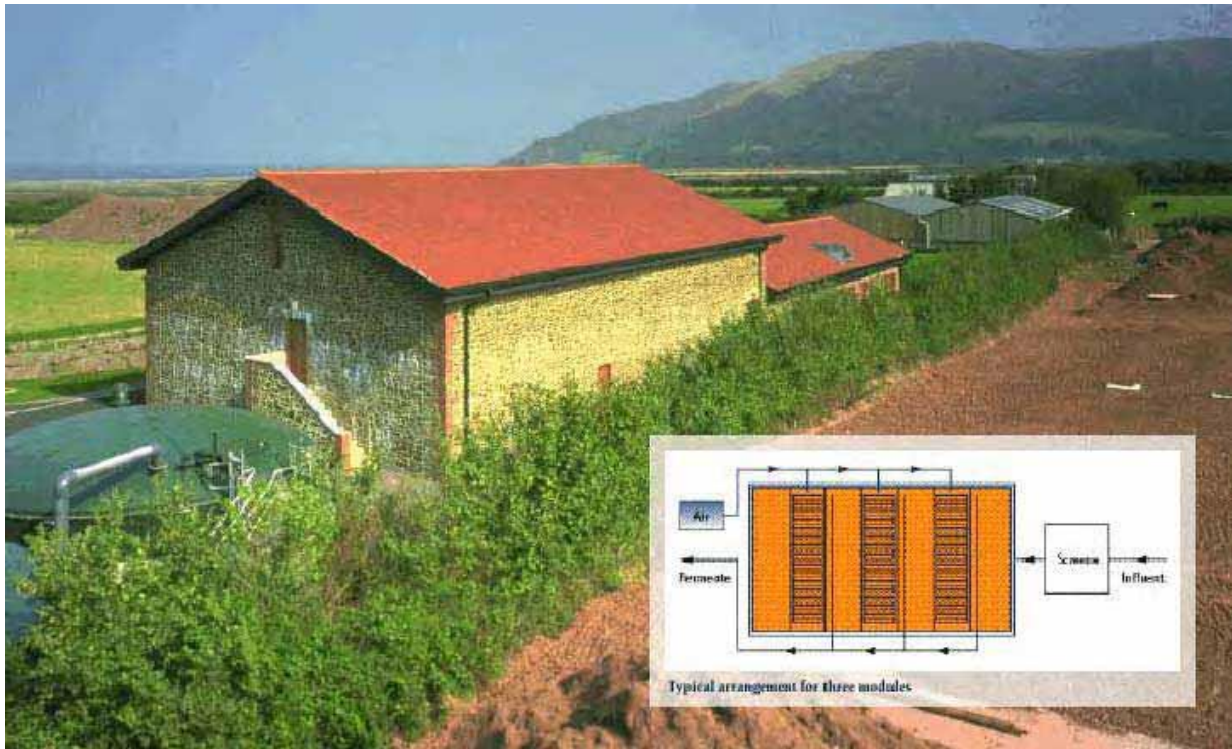
### *2.2.1 Χρήση της μονάδας MBR*

Η μέθοδος MBR είναι μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων τελευταίας τεχνολογίας και αποτελεί μια έξυπνη, προσαρμοσμένη στο περιβάλλον και ορθή λύση στο πρόβλημα. Ιδιαίτερα όταν μιλάμε για τουριστικές περιοχές, όπου η εξεύρεση χώρου επεξεργασίας λυμάτων που να έχει κοινωνική αποδοχή είναι πολύ δύσκολη. Η μέθοδος MBR δίνει άριστα αποτελέσματα, ενώ επιτυγχάνει και πλήρη νιτροποίηση. Η μέθοδος MBR λειτουργεί άριστα και ως αποκεντρωμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με μεγάλη ευελιξία ανάλογα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό. Η επιλογή της μεθόδου MBR στις περιπτώσεις αυτές είναι κατά κανόνα μονόδρομος, ενώ ταυτόχρονα δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων από μια αντίστοιχη μονάδα ενεργού ιλύος.

Η αισθητική της περιοχής δεν επηρεάζεται αρνητικά, ενώ η εν λόγω μονάδα μπορεί να εγκατασταθεί εντός κτιρίου με οικιστικά χαρακτηριστικά της γύρω περιοχής και έτσι να προσαρμοσθεί άριστα στο περιβάλλον (Βλέπε Εικόνες 1 και 2). Η μέθοδος αυτή επιλέγεται με ταχείς ρυθμούς σε πολλά μέρη της Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και της Ασίας ιδίως σε τουριστικές περιοχές, και είναι ιδανική για τα τουριστικά νησιά μας.

Το κόστος κατασκευής μιας τυπικής μονάδας MBR είναι μικρότερο μιας αντιστοίχου μονάδας ενεργού ιλύος, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι λίγο υψηλότερο (5% έως 10%), με σαφείς όμως τάσεις μείωσης.





Εικόνα 1: Παράδειγμα πραγματικής μονάδας MBR στην Αγγλία.



Εικόνα 2: Το κτήριο στα αριστερά, αν και φαινομενικά απίστευτο, είναι μονάδα επεξεργασίας MBR στις Η.Π.Α.

## 2.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μονάδας

### Πλεονεκτήματα

1. Υψηλής ποιότητας εκροή, ελεύθερη στερεών.
2. Δυνατότητα απολύμανσης εκροής χωρίς χρήση χημικών.
3. Στους Βιοαντιδραστήρες Μembranών λαμβάνει χώρα συνδυασμένη απομάκρυνση COD, στερεών και θρεπτικών σε μία ενιαία μονάδα, με αλληπάλλληλα στάδια αερόβιων – αναερόβιων – ανοξικών σταδίων με μεγάλες δυνατότητες ευελιξίας στον προγραμματισμό λειτουργίας του συστήματος.
4. Στους Βιοαντιδραστήρες Μembranών επιτυγχάνονται υψηλές συγκεντρώσεις βιομάζας στο μικτό υγρό που σύμφωνα με την βιβλιογραφία μπορεί να φτάσουν τις 25.000 mg/l (μίγματος σε αιωρούμενα στερεά, MLSS) στην περίπτωση επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, ενώ στην περίπτωση εφαρμογής τέτοιων συστημάτων στην επεξεργασία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, οι συγκεντρώσεις της βιομάζας ανέρχεται και στις 80.000 mg/l MLSS. Συνεπάγεται λοιπόν πως εξαιτίας των αυξημένων συγκεντρώσεων βιομάζας στο μικτό υγρό λαμβάνει χώρα επιτάχυνση των μηχανισμών βιοαποδόμησης των ρυπαντικών φορτίων του ρεύματος εισόδου.
5. Στους Βιοαντιδραστήρες Μembranών έχουμε την δυνατότητα επεξεργασίας αποβλήτων υψηλής οργανικής φόρτισης εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών που μπορούμε να εφαρμόσουμε στον λειτουργικό προγραμματισμό των συστημάτων MBR αλλά και εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων βιομάζας που αναπτύσσονται σε τέτοια συστήματα, όπως προαναφέρθηκε.
6. Οι Βιοαντιδραστήρες Μembranών δύναται να λειτουργήσουν σε μικρούς υδραυλικούς χρόνους παραμονής και μεγάλες ηλικίες λάσπης, χωρίς κίνδυνο έκπλυσης της βιομάζας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την δυνατότητα ανεξάρτητου ελέγχου του υδραυλικού χρόνου παραμονής και της ηλικίας της ενεργού ιλύος.
7. Στους Βιοαντιδραστήρες Μembranών λαμβάνει χώρα χαμηλή ή μηδενική παραγωγή περίσσειας ιλύος.
8. Ανεπηρέαστη λειτουργία από προβλήματα διόγκωσης της λάσπης.
9. Μειωμένες απαιτήσεις χώρου.
10. Ταχεία εκκίνηση (start-up).
11. Δυνατότητα τοποθέτησης μεμβρανών σε προϋπάρχουσες εγκαταστάσεις (retrofitting).

### Μειονεκτήματα

1. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών προκύπτουν περιορισμοί λόγω ανεπαρκούς αερισμού στον τρόπο λειτουργίας τους, εξαιτίας των μεγάλων συγκεντρώσεων MLSS που αναπτύσσονται με αποτέλεσμα ο παροχετευόμενος αέρας να καταναλώνεται κατά βάση για την κάλυψη των αναγκών της κυτταρικής συντήρησης και όχι για την αερόβια βιοαποδόμηση του ρυπαντικού φορτίου. Επίσης προκύπτουν λειτουργικοί περιορισμοί λόγω προβληματικής ανάμιξης στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διακριτά στρώματα ενεργού ιλύος, η πυκνότητα των οποίων μειώνεται από την βάση του αντιδραστήρα προς τηςελεύθερη επιφάνεια του.
2. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών ένα σημαντικό πρόβλημα που εντοπίζεται είναι η ρύπανση των μεμβρανών λόγω των επικαθήσεων βιομάζας και άλλων ανόργανων συστατικών στην ενεργό επιφάνεια αυτών, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η ροή διηθήματος μέσω των πόρων της μεμβράνης. Οι μεμβράνες πρέπει να καθαρίζονται με συγκεκριμένους τρόπους, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και να αντικαθιστούνται όταν χαλάσει η λειτουργικότητά τους
3. Οι Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος αγοράς και αντικατάστασης των μεμβρανών. Το κόστος των απαιτούμενων μεμβρανών είναι κατά προσέγγιση ανάλογο του μεγέθους της εγκατάστασης, σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας που επιδεικνύουν μία φθίνουσα οικονομία κλίμακας. Το γεγονός αυτό θέτει ένα σαφή περιορισμό στο μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος μιας οικονομικά βιώσιμης μονάδας MBR.

### **2.3 Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων**

Οι καταρχήν δυνατοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων είναι:

- άρδευση αγροτικών περιοχών
- εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- ανακύκλωση στη βιομηχανία
- αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής
- αστική χρήση

### *2.3.1 Άρδευση αγροτικών περιοχών*

Η άρδευση αποτελεί την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές. Παγκοσμίως η αγροτική άρδευση αποτελεί το 70% της συνολικής χρήσης νερού και υπερβαίνει κάθε άλλη χρήση κατά τουλάχιστον 1000%. Όταν οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της ζήτησης (αστικής και γεωργικής), τότε επιλέγεται το διαθέσιμο νερό να χρησιμοποιηθεί δύο φορές: αρχικά για αστική χρήση και μετά το επεξεργασμένο απόβλητο να χρησιμοποιηθεί για άρδευση.

Έτσι σήμερα λειτουργούν αρκετά συστήματα επαναχρησιμοποίησης που παρέχουν ανακτημένο νερό για αγροτική άρδευση. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος αποτελούσε πάντα και συνεχίζει να αποτελεί τον κύριο τρόπο διάθεσης των αστικών λυμάτων και ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών.

### *2.3.2 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων*

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μπορεί να έχει τους εξής σκοπούς:

- Την δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα εμποδίζει την διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων.
- Την αποθήκευση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης π.χ. για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή.
- Την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσής του, επειδή η φυσική ανανέωση συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό.
- Τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους.
- Την περαιτέρω επεξεργασία των αστικών αποβλήτων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους.



### *2.3.3 Ανακύκλωση στη βιομηχανία*

Η βιομηχανία προβλέπεται να αποτελέσει μελλοντικά σημαντικό χρήστη των ανακτημένων αστικών λυμάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και σε άλλες ανεπτυγμένες χώρες. Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων είναι:

- 1) το νερό ψύξης.
- 2) το νερό τροφοδοσίας λεβήτων.
- 3) το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό.

Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης.

### *2.3.4 Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος*

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει:

- 1) την δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή την διατήρηση φυσικών.
- 2) την δημιουργία χώρων αναψυχής.
- 3) την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία. Στην Καλιφόρνια το 7% περίπου της ολικής επαναχρησιμοποίησης για το έτος 1987 σχετιζόταν με την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και την δημιουργία χώρων αναψυχής. Για τον ίδιο λόγο στη Φλώριδα η περιβαλλοντική χρήση αποτελούσε το 9% της ολικής επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού.

### *2.3.5 Αστική χρήση*

Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για αστική χρήση παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης. Αν και οι ποσότητες ανακτημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό έχουν μεγάλο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον.

Μερικές μικρές κοινότητες λόγω της δυσκολίας ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες για τέτοια συστήματα. Έτσι το ενδιαφέρον για τη δημόσια υγεία επιβάλλει την ανάπτυξη σχετικής τεχνογνωσίας. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι οι ακόλουθες:

- 1) Πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γήπεδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων και κήπων που περιβάλλουν δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις.
- 2) Πότισμα κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης.
- 3) Πότισμα κήπων που περιβάλλουν εμπορικά κέντρα, γραφεία και βιομηχανικά κτίρια.
- 4) Εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα.
- 5) Διακόσμηση κήπων με διακοσμητικά σιντριβάνια, πισίνες και καταρράκτες.
- 6) Έλεγχος σκόνης και παραγωγή σκυροδέματος σε δομικά έργα.
- 7) Πυροπροστασία.
- 8) Καθαρισμό τουαλετών σε εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια.

Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για αστική χρήση προϋποθέτουν την ύπαρξη συστημάτων διπλής διανομής στην αστική περιοχή. Το σύστημα διανομής του ανακτημένου νερού είναι παράλληλο με το κύριο σύστημα διανομής πόσιμου νερού. Το παλαιότερο αστικό σύστημα διπλής διανομής στις Η.Π.Α. βρίσκεται στην πόλη St. Petersburg της Φλώριντας (1977). Στις οικιστικά διαμορφωμένες αστικές περιοχές η εκ των υστέρων εγκατάσταση δεύτερου δικτύου για διανομή ανακτημένου νερού και εσωτερικών υδραυλικών εγκαταστάσεων έχει συνήθως υψηλό κόστος που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαγορευτικό. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις τα οφέλη που προκύπτουν από την διατήρηση αποθεμάτων πόσιμου νερού μπορούν να δικαιολογήσουν το κόστος, π.χ. σε περιπτώσεις που το πόσιμο νερό μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, ή όταν οι τοπικοί υδροφορείς έχουν τόσο κακή ποιότητα ώστε να απαιτείται μεγάλος βαθμός επεξεργασίας. Στις αναπτυσσόμενες όμως αστικές περιοχές η εγκατάσταση διπλού συστήματος διανομής από την αρχή εξασφαλίζει σημαντικά κέρδη.

### 2.3.6 Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει σοβαρό πρόβλημα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης και των αυξημένων ζητήσεων για άρδευση και χρήση νερού. Η ζήτηση νερού στην Ελλάδα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία πενήντα χρόνια.

Συχνά παρατηρείται σημαντική μείωση των αποθεμάτων νερού εξαιτίας των καιρικών και περιφερειακών διακυμάνσεων της βροχόπτωσης, της αυξημένης ζήτησης το καλοκαίρι και της δυσκολίας στη μεταφορά νερού μέσω των βουνών. Ως αποτέλεσμα, η ενσωμάτωση της επαναχρησιμοποίησης νερού στη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων αναδεικνύεται σε πολύ καίριο ζήτημα. Λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση, η περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση θεωρείται ήδη ως μια διαθέσιμη εναλλακτική σε συμμόρφωση βέβαια με αυστηρά πρότυπα<sup>[5]</sup>.

Μια ανάλυση της κατανομής των επεξεργασμένων οικιακών αποβλήτων έδειξε ότι περισσότερο από 83% της εκροής αποβλήτων παράγεται σε περιοχές με έλλειμμα νερού. Αυτό αποδεικνύει ότι η επαναχρησιμοποίηση νερού σε αυτές τις περιοχές θα μπορούσε να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της ζήτησης σε νερό. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που ωθεί στην επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού αποτελεί το γεγονός ότι το 88% της εκροής των αποβλήτων εντοπίζονται σε απόσταση μικρότερη των πέντε χιλιομέτρων από μια γεωργική έκταση που έχει ανάγκη από νερό άρδευσης. Γι' αυτό, το επιπλέον κόστος της άρδευσης με ανακτημένο νερό, υπολογίζεται να είναι σχετικά χαμηλό.

## **2.4 Νομοθεσία**

Η μέχρι τώρα απουσία ενός ολοκληρωμένου και σαφούς θεσμικού πλαισίου αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την προώθηση και ευρεία εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης η οποία μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ειδικότερα, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων αφ' ενός από την λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής, και αφ' ετέρου από την έντονη ταπείνωση και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας.

### **2.4.1 Η κοινή υπουργική απόφαση 145116/2011**

Με την Κ.Υ.Α. 145116/2011 θεσπίζονται τέσσερις βασικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

- 1) άρδευση.
- 2) βιομηχανική χρήση.
- 3) τροφοδότηση/ εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων.
- 4) αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση.

Τίθενται όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους για τις διάφορες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, καθώς και ο αντίστοιχος βαθμός της κατ' ελάχιστον απαιτούμενης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από απολύμανση) και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών.

### **2.4.2 Σκοπός**

Ο σκοπός της παρούσας Κοινής Υπουργικής Απόφασης απόφασης είναι:

- 1) η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων, η οποία θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από:
  - i. την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής.
  - ii. την έντονη ταπείνωση και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση, την προϊούσα λειψυδρία και την είσοδο του θαλάσσιου μετώπου σε παραλιακές περιοχές.

- 2) η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπογείων υδροφορέων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

#### 2.4.3 Πεδίο εφαρμογής

Η ΚΥΑ εφαρμόζεται για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων:

1. Υγρών οικιακών ή αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών λυμάτων που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης.
2. Υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία.

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, είναι οι εξής:

1. Επεξεργασία του γάλακτος.
2. Παραγωγή οπωροκηπευτικών προϊόντων.
3. Παραγωγή και εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών.
4. Μεταποίηση γεώμηλων.
5. Βιομηχανία κρέατος
6. Ζυθοποιία.
7. Παραγωγή αλκοόλης και αλκοολούχων ποτών.
8. Παραγωγή ζωοτροφών από φυτικά προϊόντα.
9. Παραγωγή ζελατίνας και κόλλας από δέρματα και οστά ζώων.
10. Μονάδες παραγωγής βύνης.
11. Μεταποιητική βιομηχανία ιχθύων.

#### 2.4.4 Τύποι επαναχρησιμοποίησης

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων επιτρέπεται για γεωργική χρήση (άρδευση), για την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, για αστική και περιαστική χρήση, για βιομηχανική χρήση και για τα υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007.

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας απόφασης:

1. η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων.
2. η άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που αναφέρονται στο άρθρο 8.
3. επαναχρησιμοποίηση για χρήσεις κολύμβησης (πισίνες).
4. άλλες οικιακές χρήσεις.

Στην ΚΥΑ ορίζονται οι εξής δυνατότητες για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

1. **Άρδευση**, που διακρίνεται περαιτέρω σε:
  - i. Περιορισμένη.
  - ii. Απεριόριστη.
2. **Βιομηχανική χρήση**, που διακρίνεται περαιτέρω σε:
  - i. Επαναχρησιμοποίηση ως νερό ψύξης μιας χρήσης.
  - ii. Άλλες βιομηχανικές χρήσεις, όπως επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών.
3. **Τροφοδότηση/ Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων**, που διακρίνεται περαιτέρω σε:
  - i. Τροφοδότηση με διήθηση διαμέσω εδαφικού στρώματος.
  - ii. Τροφοδότηση με γεωτρήσεις.
4. **Αστική και Περιαστική επαναχρησιμοποίηση**.

Οι προαναφερόμενοι τύποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων δεν είναι επιτρεπτοί για το σύνολο του πεδίου εφαρμογής της ΚΥΑ. Οι επιτρεπόμενες μορφές επαναχρησιμοποίησης σε συνάρτηση με την πηγή παραγωγής των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων.

Πηγή/ Τύπος υγρών αποβλήτων	Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης
Οικιακά ή αστικά λύματα ή βιομηχανικά λύματα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	1. Άρδευση 2. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων 3. Αστική και περιαστική χρήση 4. Βιομηχανική χρήση
Υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία	1. Βιομηχανική χρήση 2. Περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης 3. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007 και μόνο μέσω διήθησης.



## ***Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση***

Διακρίνονται δύο τύποι επαναχρησιμοποίησης στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα:

1. Περιορισμένη άρδευση, που αφορά μόνο καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλου είδους επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή οι καρποί τους δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος κατά τη διαδικασία συλλογής τους. Παραδείγματα των καλλιεργειών αυτών είναι καλλιέργειες ζωοτροφών, λιβάδια, βιομηχανικές καλλιέργειες, δέντρα (εκτός των οπωροφόρων), καλλιέργειες σπόρων κ.α.. Στην περιορισμένη άρδευση δεν επιτρέπεται η εφαρμογή του καταιονισμού ως μεθόδου άρδευσης. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση πρέπει να απαγορεύεται.
2. Απεριορίστη άρδευση, που αφορά σε είδη καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, π.χ. λαχανικά, αμπέλια, οπωροφόρα δέντρα, ενώ αφορά επίσης και ανθοκομικές καλλιέργειες. Στις περιπτώσεις αυτές επιτρέπονται διάφοροι τύποι άρδευσης, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού, ενώ δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πρόσβαση του κοινού.

## ***Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων***

Διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων:

1. Άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα.
2. Εμπλουτισμός με τη μέθοδο της διήθησης διαμέσου εδαφικού στρώματος εδάφους, με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος.

Με ορισμένες εξαιρέσεις, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων επιτρέπεται μόνο στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα υπόγεια νερά δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007. Στην τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων εντάσσονται τόσο η υπεδάφια όσο και η επιφανειακή διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της τελικής διάθεσης σε απορροφητικό βόθρο.

### ***Αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση***

Ο συγκεκριμένος τύπος επαναχρησιμοποίησης αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης μεταξύ άλλων νσυμπεριλαμβάνουν: το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου όπως δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές κατοικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής, τη χρήση νερού για την πυρόσβεση, τη συμύκνωση εδαφών, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, τα διακοσμητικά συντριβάνια, τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υγροβιοτόπων καθώς και για την ενίσχυση παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

### ***Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση***

Η επαναχρησιμοποίηση αυτού του τύπου περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης (μιας χρήσης ή επανακυκλοφορούμενων), αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

#### **2.4.5 Όρια και παράμετροι χρήσης**

Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες

Πίνακας 5: Όρια για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού.

Τυπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατ ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<b>Περιορισμένη άρδευση</b>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400 /1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400 /1997		Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, απολύμανση	BOD5, SS, N, P , σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97) EC : μια ανα εβδομάδα Υπολειμματικό Χλώριο : συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες , λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋποθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται						
<b>Βιομηχανική χρήση</b>						
Νερό ψύξης μιας χρήσης						
Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθ. 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 , (με την επιφύλαξη των παραγ. 4 και 5 του άρθ. 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά.						

Πίνακας 6: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατ ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<b>Απεριόριστη άρδευση</b> Όλες οι καλλιέργειες όπως οπωροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	<b>BOD5, SS, N, P:</b> σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97) <b>Θολότητα και διαπερατότητα:</b> για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους, τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. <b>EC :</b> για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50.000 κατοίκους 4 ανά εβδομάδα και 2 ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ' εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής 1 ανά εβδομάδα. <b>Υπολειμματικό Χλώριο Cl<sub>2</sub> :</b> συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
<b>Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης</b> Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ.						

Πίνακας 7: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατ ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Αστική χρήση</b></p> <p>Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρηνή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια. Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p><b>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων</b> που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθ. 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ 54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις.</p> <p><b>Περιαστικό πράσινο</b> συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών.</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση</p>	<p><b>BOD5, SS, N, P:</b> σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997(ΦΕΚ 192/Β/14-3-97)</p> <p><b>Θολότητα και διαπερατότητα:</b> για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. TC : για ανακτημένο νερό απ'π εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50.000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δυο ανά εβδομάδα. Υπολειμματικό Χλώριο Cl<sub>2</sub> : συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας 8: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σε επεξεργασμένα λύματα για: α) αστική επαναχρησιμοποίηση, β) περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, γ) βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση και δ) τροφοδότηση - εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.

ΜΕΤΑΛΛΟ	ΜΕΤΑΛΛΟ
Μέγιστη συγκέντρωση	Μέγιστη συγκέντρωση
ppm	ppm
Al (Αργίλιο) 5,00	Al (Αργίλιο) 5,00
As (Αρσενικό) 0,10	As (Αρσενικό) 0,10
Be (Βηρύλλιο) 0,10	Be (Βηρύλλιο) 0,10
Cd (Κάδμιο) 0,01	Cd (Κάδμιο) 0,01
Co (Κοβάλτιο) 0,05	Co (Κοβάλτιο) 0,05
Cr (Χρώμιο) 0,10	Cr (Χρώμιο) 0,10
Cu (Χαλκός) 0,20	Cu (Χαλκός) 0,20
F (Φθόριο) 1,00	F (Φθόριο) 1,00
Fe (Σίδηρος) 3,00	Fe (Σίδηρος) 3,00
Li (Λίθιο) 2,50	Li (Λίθιο) 2,50
Mn (Μαγγάνιο) 0,20	Mn (Μαγγάνιο) 0,20
Mo (Μολυβδαίνιο) 0,01	Mo (Μολυβδαίνιο) 0,01
Ni (Νικέλιο) 0,20	Ni (Νικέλιο) 0,20
Pb (Μόλυβδος) 0,10	Pb (Μόλυβδος) 0,10
Se (Σελήνιο) 0,02	Se (Σελήνιο) 0,02
V (Βανάδιο) 0,10	V (Βανάδιο) 0,10
Zn (Ψευδάργυρος) 2,00	Zn (Ψευδάργυρος) 2,00

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 8 καθορίζεται σε:

- 12 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 200.000 κατοίκους και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που δεν εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ192/Β/14.3.97).
- 4 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 50.000 και 200.000 κατοίκων
- 2 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ



10.000 και 50.000 κατοίκων και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ192/Β/14.3.97).

- ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 2.000 και 10.000 κατοίκων

Για εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο των 2.000 κατοίκων και οικιακά ιδιωτικά συστήματα επεξεργασίας δεν απαιτείται έλεγχος για τη διαπίστωση τήρησης των ορίων του Πίνακα 8.

Οι περισσότερες μελέτες σε συστήματα MBR χρησιμοποιούν συνθετικά απόβλητα, παρασκευασμένα εργαστηριακά. Σε πρώτο στάδιο αυτό είναι απαραίτητο για να καταλάβει κανείς τα όρια ενός αντιδραστήρα, τον χρόνο χρήσης των μεμβρανών πριν χρειαστούν καθαρισμό, τη δημιουργία ενεργής λάσπης όσο πιο σταθερής γίνεται ή την παρακολούθηση της ανάπτυξης συγκεκριμένης κατηγορίας μικροοργανισμών. Καθώς η λειτουργία του συστήματος MBR είναι πιλοτική, πρέπει να είμαστε ιδιαιτέρως προσεκτικοί και να ελέγχουμε κάθε μας βήμα. Η χρήση συνθετικού αποβλήτου έχει το πλεονέκτημα της σταθερής και απόλυτα συγκεκριμένης συγκέντρωσης στα διάφορα συστατικά του, έναντι ενός αληθινού αποβλήτου όπου αυτή η συγκέντρωση θα είχε ίσως και σημαντικές αυξομειώσεις. Επίσης, ενδεχομένως, θα περιείχε συστατικά που θα έδιναν αξιοπεριεργά αποτελέσματα που δεν θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε αν δεν είμαστε σίγουροι για τα συστατικά αυτά. Τέλος το συνθετικό απόβλητο είναι άμεσα διαθέσιμο, σε όση ποσότητα χρειάζεται και σε σχετικά χαμηλό κόστος.

### ***3.1 Τύποι συνθετικών αποβλήτων***

Οι τρεις βασικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για την Παρασκευή του αποβλήτου είναι η τροφή που πρέπει να έχουν τα μικρόβια για να αναπτυχθούν, η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για αυτά και φυσικά κάποια αρχική ποσότητα μικροβίων για να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία.

Όσον αφορά την τροφή, αυτή δίνεται σε μορφή άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου από τις περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει. Αυτό είναι άλλωστε αρκετά ρεαλιστικό αφού όλα τα αστικά απόβλητα περιέχουν οπωσδήποτε αυτά τα συστατικά. Αυτό που αλλάζει είναι σε τί είδους χημικές ενώσεις θα περιέχονται τα χημικά αυτά στοιχεία. Αυτό που ενδιαφέρει κυρίως είναι η συγκέντρωση αυτών σε όρους COD, ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου και η αναλογία αυτών.

Για να αναπτυχθούν τα μικρόβια χρειάζεται η προσθήκη μεταλλικών ιχνοστοιχείων, σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, για να έχει το διάλυμα ευνοϊκές συνθήκες αγωγιμότητας. Επίσης το pH είναι υψίστης σημασίας για τα μικρόβια και πρέπει να είναι σε τιμή από 6 έως 7.

Τέλος η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ικανοποιητική αρκεί να μην έχει ακραία χαμηλά ή υψηλά νούμερα. Κάτι τέτοιο ευτυχώς δεν αποτελεί πρόβλημα στη χώρα μας, εκτός ίσως από τις περιόδους καύσωνα.

Τα αρχικά μικρόβια μπορούν να προέλθουν είτε με απ' ευθείας προσθήκη αυτών, αγορασμένων από το εμπόριο, είτε με προσθήκη

στο συνθετικό απόβλητο ενός μικρού ποσοστού ήδη επεξεργασμένης λάσπης που θα πάρουμε από έναν υπάρχων βιολογικό καθαρισμό.

Παρακάτω παραπέμπονται ενδεικτικοί πίνακες συστατικών συνθετικών αποβλήτων.

Πίνακας 9: Συνταγή συνθετικού απόβλητου<sup>[6]</sup>.

<b>Χημικά Συστατικά</b>	<b>Συγκέντρωση (mg/l)</b>
Ουρία	91,74
NH <sub>4</sub> Cl	12,75
Na-acetate	79,37
Peptone	17,41
MgHPO <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	29,02
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	23,4
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	5,80
<b>Συστατικά τροφίμων</b>	
Άμυλο	122
Γάλα σε σκόνη	116,19
Μαγιά	52,24
Σογιέλαιο	29,02
<b>Ίχνη Μετάλλων</b>	
Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	0,770
CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,536
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0,108
NiSO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,336
PbCl <sub>2</sub>	0,100
ZnCl <sub>2</sub>	0,208

Με στόχο την προσομοίωση των αστικών λυμάτων, ο Boeije χρησιμοποίησε ως εισροή σε ένα σύστημα εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας (SBR) συνθετικό λύμα, η σύσταση του οποίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.

Η πεπτόνη και η σκόνη γάλακτος χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως πηγή πρωτεϊνών, ενώ το άμυλο και το σογιέλαιο ως πηγές υδατανθράκων και λιπαρών υλών αντίστοιχα. Ο φώσφορος εισέρχεται στο σύστημα επεξεργασίας κυρίως με τη μορφή ανόργανου φωσφόρου και η αμμωνία με τη μορφή χλωριούχου αμμωνίου και ουρίας. Στη «συνταγή» αυτή συμμετέχει σημαντικός αριθμός ιχνοστοιχείων με στόχο την καλύτερη προσομοίωση με τα αστικά λύματα. Το συνολικό COD είναι 439 mg/l.

Πίνακας 10: Συστατικά συνθετικού αποβλήτου<sup>[7]</sup>.

Συστατικό	Συγκέντρωση mg/l)
Πεπτόνη	853
Ζωικό εκχύλισμα	587
Ουρία	160
NaCl	37
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	11
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	149
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	21

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η σύσταση συνθετικού λύματος που χρησιμοποιήθηκε σε τεστ μέτρησης της ταχύτητας αποξυγόνωσης βιομάζας, που αναπτύσσεται σε συστήματα ενεργού ιλύος επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Σκοπό της εργασίας αποτελούσε η ταυτοποίηση ουσιών που αναστέλλουν τη μικροβιακή δράση και η υπόδειξη κατάλληλων συγκεντρώσεων ουσιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τεστ βιοδιασπασιμότητας.

Πίνακας 11: Συστατικά συνθετικού απόβλητου<sup>[8]</sup>.

Συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Ζωικό εκχύλισμα	80
CH <sub>3</sub> COOH	0,2
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	70
FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1,5
CaCl <sub>2</sub>	2,88
NaHCO <sub>3</sub>	420

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζεται η σύσταση τροφοδοσίας τεσσάρων συστημάτων εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας. Στόχος της έρευνας αυτής ήταν η επίδραση των έντονων μεταβολών της θερμοκρασίας στα πολυφωσφορικά βακτηρίδια.

Παρακάτω, παρουσιάζεται η σύσταση συνθετικών λυμάτων που προσομοιώνουν τα υγρά απόβλητα μιας βιομηχανίας παραγωγής οίνου. Τα συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση αυτή είναι τελείως διαφορετικά από αυτά των προαναφερθέντων «συνταγών». Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν τελείως διαφορετική σύσταση τόσο από τα αστικά όσο και μεταξύ τους για ευνόητους λόγους. Η προσομοίωση των βιομηχανικών αποβλήτων απαιτεί επομένως την ταυτοποίηση όλων των ενώσεων που υπάρχουν στο εν λόγω απόβλητο, επειδή η σύστασή τους μπορεί να διαφέρει ακόμα και όταν πρόκειται για απόβλητο από βιομηχανίες όμοιων προϊόντων.

Πίνακας 12: Συστατικά συνθετικού απόβλητου<sup>[9]</sup>.

Συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Γλυκόζη	1800
Φρουκτόζη	1800
Κιτρικό οξύ	1
Τρυγικό οξύ	2
Μηλικό οξύ	2
Γαλακτικό οξύ	2
Προπανόλη	1,24
Βουτανόλη	1
Πεντυλική αλκοόλη	3,8
Οξικό οξύ	250
Αιθανόλη	10
Οξικός αιθυλεστέρας	4
Προπιονικό οξύ	8
Βαλερικό οξύ	1
Εξανοϊκό οξύ	0,5
Οκτανοϊκό οξύ	0,7
YNB	1700
NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>	5000

### 3.2 Μέθοδοι συντήρησης συνθετικών αποβλήτων

Μια μικρή τυπική πειραματική μονάδα MBR χρειάζεται μερικές εκατοντάδες λίτρα αποβλήτου κάθε εβδομάδα. Επομένως ένας αποτελεσματικός τρόπος, που χρησιμοποιείται ευρέως, είναι η παρασκευή συμπυκνωμένου αποβλήτου και η μετέπειτα αραίωσή του. Έτσι εξοικονομείται χώρος αλλά και χρόνος, αφού αρκεί η παρασκευή του μία φορά την εβδομάδα ή και πιο σπάνια. Αυτό που βέβαια πρέπει να ληφθεί υπ' όψη είναι κατά πόσον το απόβλητο διατηρείται σταθερό πριν την προσθήκη του στον βιοαντιδραστήρα. Ο βασικότερος «εχθρός» μας στην προσπάθεια αυτή είναι τα μικρόβια και η ανάπτυξή τους. Προφανώς η προσθήκη μικροβίων ή η προσθήκη λάσπης από βιολογικό καθαρισμό που αναφέρεται παραπάνω πρέπει να γίνει την τελευταία στιγμή πριν την προσθήκη του αποβλήτου στον αντιδραστήρα. Έτσι ενώ μέσα στον αντιδραστήρα επιθυμούμε την ραγδαία ανάπτυξη και επιβίωση των μικροβίων, πριν την προσθήκη του χρειαζόμαστε συνθήκες αποθήκευσης σε περιβάλλον που δεν θα αναπτύσσονται αυτά. Τέτοιες συνθήκες μπορούν να επιτευχθούν με τους παρακάτω τρόπους <sup>[11]</sup>:

- Αποστείρωση
- Ψύξη (4°C ή χαμηλότερα)
- Δημιουργία όξινου (pH<3) ή αλκαλικού περιβάλλοντος (pH>11)

#### 3.2.1 Ψύξη

Καθώς η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών, αν το συνθετικό μας απόβλητο διατηρηθεί σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 4°C , θα αναστείλουμε την ανάπτυξή τους.

Τα παρακάτω σημεία πρέπει να προσεχτούν όσον αφορά τη συντήρηση αποβλήτου μέσω ψύξης:

#### Χρόνος ψύξης- Διατήρηση Ψύξης:

Πρέπει να είμαστε σίγουροι πως το απόβλητό μας θα βρεθεί την επιθυμητή θερμοκρασία σε εύλογο χρονικό διάστημα και πως το ψυγείο μας είναι επαρκές για να διατηρήσει αυτήν τη θερμοκρασία για όσο χρόνο αποθηκευτεί. Πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει ο μεγάλος όγκος υγρού που θα δυσχαιρείνει την επίτευξη αυτή (σε αυτήν την κατεύθυνση βοηθάει και η συμπύκνωση του αποβλήτου).



### **Θερμοκρασία περιβάλλοντος:**

Η εποχή που πραγματοποιούνται τα πειράματα έχει μεγάλη σημασία γιατί μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό επιτυχή συντήρηση του αποβλήτου.

### **Ταπείνωση σημείου πήξης:**

Ένας άλλος τρόπος για να είμαστε σίγουροι για τη χαμηλή θερμοκρασία του αποβλήτου μας είναι η ταπείνωση του σημείου πήξης. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει π.χ. με προσθήκη στο απόβλητο διαλύματος μονοαιθυλενογλυκόλης ή με διαφορετικούς άλλους τρόπους.

#### ***3.2.2 Αποστείρωση***

Ένας άλλος τρόπος συντήρησης είναι η καθημερινή αποστείρωση του αποβλήτου. Οι μέθοδοι αποστείρωσης περιλαμβάνουν τον κλιβανισμό (αποστείρωση σε υψηλή θερμοκρασία υπό πίεση και υγρασία), τον ξηροκλίβανο, τη χρήση ακτινοβολίας και τη χρήση αντιμικροβιακών ουσιών. Όπως είναι φανερό από τις παραπάνω μεθόδους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο η χρήση ακτινοβολίας, και αυτό γιατί οι άλλοι τρεις τρόποι ενδέχεται να αλλάξουν τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου. Η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να απομακρύνει ουσίες λόγω πτητικότητας, αλλάζοντας τη συγκέντρωση του διαλύματος ενώ οι αντιμικροβιακές ουσίες ενδέχεται να επηρεάσουν τις μετέπειτα μετρήσεις και ακόμα να δυσχεράνουν την ανάπτυξη μικροβίων στον αντιδραστήρα. Και η χρήση ακτινοβολίας πάντως απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό υψηλού κόστους

### 3.2.3 Δημιουργία όξινου ( $pH < 3$ ) ή αλκαλικού περιβάλλοντος ( $pH > 11$ )

Ένας άλλος τρόπος συντήρησης είναι η δημιουργία όξινου περιβάλλοντος. Σε τέτοιες συνθήκες τα μικρόβια δε μπορούν να αναπτυχθούν, ενώ ο χρόνος προσαρμογής τους είναι περισσότερος από μια εβδομάδα. Η δημιουργία όξινου ή αλκαλικού περιβάλλοντος μπορεί να επιτευχθεί με προσθήκη υδροχλωρίου ή υδροξειδίου του νατρίου αντίστοιχα.

Για να επιτύχουμε την οξίνυση πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας 2 πράγματα: Την ποσότητα οξέος ή βάσης που χρειαζόμαστε για να ρυθμίσουμε το pH στο επιθυμητό επίπεδο. Και δεύτερον αν το pH αλλάζει την σύσταση του αποβλήτου λόγω π.χ. αύξησης της πτητικότητάς του. Αυτό μπορεί να γίνει μετρώντας το COD, το διαλυτό COD, το ολικό άζωτο και την αγωγιμότητα σε διάστημα μίας εβδομάδας. Τέλος το pH θα πρέπει να ξαναρυθμιστεί στα φυσιολογικά επίπεδα πριν ρίξουμε το απόβλητο στον βιοαντιδραστήρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Αναλυτικές μέθοδοι ελέγχου παραμέτρων ρύπανσης σε νερά

### **4.1 Οπτικές μέθοδοι**

#### *4.1.1 Θολερομετρία*

Η θολερότητα, είναι ένα μέτρο των χαρακτηριστικών διάδοσης του φωτός μέσω του νερού. Είναι ακόμη ένα ενδεικτικό τεστ της ποιότητας αποβλήτων ως προς τα αιωρούμενα συστατικά και σε κολλοειδής ενώσεις. Η μέτρηση της θολερότητας βασίζεται στην σύγκριση διαθλασιμότητας ή απορρόφησης φωτός σε σχέση μ' ένα πρότυπο διάλυμα. Κολλοειδή συστατικά διαθλούν ή απορροφούν φως χαρακτηριστικού μήκους κύματος και δεν επιτρέπουν την διαπέραση. Γενικά δεν υπάρχει καμία άμεση σχέση μεταξύ θολερότητας και συγκέντρωσης αιωρούμενων συστατικών σ' ένα ακατέργαστο λύμα.

Η νεφελομετρία και η θολερομετρία βασίζονται στο σκεδασμό του φωτός από τα σωματίδια κολλοειδών συστημάτων. Η εξάρτηση της εντάσεως σκεδασμού του φωτός από τον αριθμό των σωματιδίων που υπάρχουν σε ορισμένο όγκο κολλοειδούς συστήματος είναι γραμμική, σε αυστηρά καθορισμένες πειραματικές συνθήκες. Η νεφελομετρία ή αλλιώς νεφελομετρική μέθοδος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την μέτρηση της θολερότητας. Αποτελεί μια από της πλέον εξελιγμένες μεθόδους, η οποία διακρίνεται για την ακρίβειά της στον τρόπο προσδιορισμού θολερότητας σε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.

#### *4.1.2 Ανακλασιμετρία (Reflectometer)*

Το ανακλασίμετρο χρησιμεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό διαφορετικών ουσιών (αλουμίνιο, αμμώνιο, άργυρος, ασβέστιο, ασκορβικό οξύ, γλυκόζη, θειώδη, κάλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, μόλυβδος, νικέλιο, νιτρικά, νιτρώδη, σίδηρος, υπεροξείδια, φωσφορικά, χαλκός, χλώριο, χρωμικά, ψευδάργυρος). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του είναι η αποθήκευση των δεδομένων από παλαιότερες μετρήσεις, ακόμα και η εξαγωγή του μέσου όρου τους, προσδίδοντας με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό εξαιτίας της τεχνικής της «οπτικής διπλής ακτίνας», η οποία εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε παρτίδα και επιτυγχάνει τη μέτρηση δυο ζωνών αντίδρασης.

### 4.1.3 Φασματομετρία

Η φασματομετρία υπερύθρου αποτελεί ένα σημαντικό και εύχρηστο εργαλείο για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό πολλών ουσιών. Ειδικότερα, η φασματομετρία απορρόφησης και ανάκλασης στη μέση υπέρυθρη περιοχή βρίσκει εφαρμογή στη μελέτη της δομής μοριακών ενώσεων και ιδιαίτερα οργανικών ενώσεων και ουσιών βιοχημικού ενδιαφέροντος. Διάφοροι κατασκευαστές οργάνων προσφέρουν σήμερα μη καταγραφικά φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης, χρήσιμα για μετρήσεις στην υπερίωδη και στην ορατή περιοχή. Η κατώτερη χρήσιμη περιοχή μήκους κύματος για τα όργανα αυτά κυμαίνεται από 190 έως 210 nm και η ανώτερη από 800 έως 1000 nm. Όλα διαθέτουν εναλλασσόμενες λυχνίες βολφραμίου και υδρογόνου ή δευτερίου. Τα περισσότερα διαθέτουν φωτοπολλαπλασιαστές ως μεταλλάκτες και μονοχρωμάτορες για διασπορά και επιλογή της ακτινοβολίας. Μερικά από τα όργανα είναι εξοπλισμένα με ψηφιακά συστήματα ανάγνωσης και άλλα έχουν μεγάλα αναλογικά όργανα βελόνας. Τυπικές περιοχές εύρους φασματικής ζώνης είναι 2 έως 8 nm και αναφέρεται ακρίβεια επιλογής μήκους κύματος  $\pm 0,5$  έως  $\pm 2$  nm. Στα πλεονεκτήματα των οργάνων απλής δέσμης περιλαμβάνεται η ισχυρότερη ακτινοβολία, ο καλύτερος λόγος σήματος προς θόρυβο και οι απλοί και εύχρηστοι χώροι τοποθέτησης των δειγμάτων. Αντίθετα, η διαδικασία καταγραφής του σήματος του μεταλλάκτη για την κυψελίδα αναφοράς και στην συνέχεια και για την κυψελίδα δείγματος (ώστε στη συνέχεια να υπολογιστούν οι απορροφήσεις ή οι διαπερατότητες) δεν είναι ικανοποιητική, λόγω της ολίσθησης και του θορύβου flicker της πηγής και του μεταλλάκτη.

### 4.2 Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι

Η χρήση της αυτόματης τιτλοδότησης διαλυμάτων, όξινων ή βασικών, αποτελεί μια μέθοδο με πολλά πλεονεκτήματα. Με την εφαρμογή του αυτόματου τιτλοδότη πετυχαίνουμε γρηγορότερες αναλύσεις με χαρακτηριστική ακρίβεια και ιδιαίτερη επαναληψιμότητα. Αποτελείται από μία αυτόματη προχοΐδα με την οποία γίνεται η εισαγωγή του πρότυπου διαλύματος. Η ροή του γίνεται στάγδην με σταθερό ρυθμό. Ακόμα, η συσκευή διαθέτει έναν ειδικό αισθητήρα που καταλήγει στην φιάλη όπου βρίσκεται το διάλυμα ώστε να γίνεται έλεγχος της αλλαγής των τιμών pH του διαλύματος μετά την εισαγωγή πρότυπου διαλύματος. Η τιτλοδότηση συνεχίζεται αυτόματα μέχρι την μεταβολή του χρώματος του διαλύματος, λόγω του δείκτη. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται εύκολα και με ακρίβεια το τελικό σημείο και γνωρίζουμε πόση ποσότητα πρότυπου διαλύματος απαιτήθηκε. Ο αυτόματος τιτλοδότης αποτελείται από το μηχανικό το ηλεκτρονικό μέρος και τον εκτυπωτή.

Με τον ίδιο αυτόματο τιτλοδότη μπορεί να γίνει και μέτρηση των χλωριόντων με την χρήση ηλεκτροδίου REDOX. Ο τιτλοδότης μας θα είναι νιτρικός άργυρος ( $\text{AgNO}_3$ ) πλέον και κατά την διάρκεια της τιτλοδότησης θα αρχίσει να θολώνει το διάλυμά μας το οποίο επιβεβαιώνει την ύπαρξη χλωριόντων .

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροδίου REDOX είναι:

- Μήκος Ηλεκτροδίου : 120 mm
- Διάμετρος Ηλεκτροδίου : 12 mm
- Υλικό σώματος : polysulfone
- Εύρος θερμοκρασίας : 0 - 80 C°
- Τύπος καλωδίου : 2 m coaxial
- Τύπος σύνδεσης : BNC



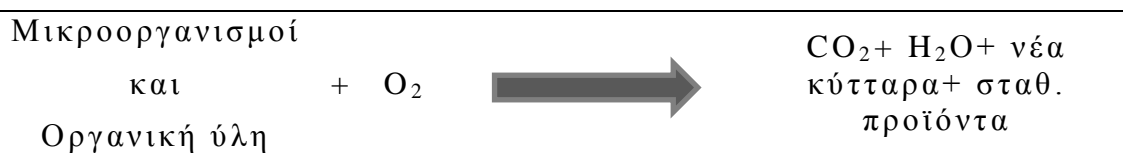
### 4.3 Ειδικές μέθοδοι

Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους ποιότητας του νερού είναι το ποσό του διαλυμένου σε αυτό οξυγόνου DO (Dissolved Oxygen). Η μέγιστη συγκέντρωση (κορεσμού) του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι μικρή, της τάξης των 8-15 mg/l, και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού. Οι ελάχιστες ποσότητες που απαιτούνται από ένα υγιή πληθυσμό ψαριών μπορεί να είναι υψηλές, της τάξης των 5-8 mg/l, ή και χαμηλότερες, της τάξης των 3 mg/l. Η απαίτηση σε οξυγόνο μπορεί να μετρηθεί και εκφράζεται με διάφορους τρόπους. Οι σημαντικότεροι και ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι βασίζονται στη μέτρηση του BOD και του COD. Η χημική απαίτηση οξυγόνου ή το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των αποβλήτων. Η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου ή το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από μικροοργανισμούς παρακειμένου να αποικοδομήσουν βιολογικά τα απόβλητα.

#### 4.3.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Όταν βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη απορρίπτεται στο νερό, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο απόβλητο, και ειδικότερα τα βακτήρια, την αποικοδομούν σε απλούστερα οργανικά και ανόργανα συστατικά. Όταν η αποσύνθεση αυτή της οργανικής ύλης λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες, δηλαδή παρουσία οξυγόνου, τα προϊόντα της αποικοδόμησης είναι αβλαβή και σταθερά όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), τα θειικά ( $\text{SO}_4$ ), τα φωσφορικά ( $\text{PO}_4$ ) και τα νιτρικά ( $\text{NO}_3$ ).

Μία πλουστευμένη αναπαράσταση αερόβιας αποσύνθεσης δίνεται από την αντίδραση (1):



Όταν το διαθέσιμο οξυγόνο είναι ανεπαρκές, λαμβάνει χώρα αναερόβια αποσύνθεση και γίνεται από εντελώς διαφορετικούς μικροοργανισμούς. Αυτοί παράγουν τελικά προϊόντα που είναι επιβλαβή και ανεπιθύμητα, όπως το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να οξειδώσουν αερόβια τα οργανικά απόβλητα, όπως ήδη αναφέρθηκε, ονομάζεται βιοχημική απαίτηση οξυγόνου ή βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο.

BOD. Το BOD συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/l) ή σε ισοδύναμες μονάδες: γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ( $\text{g/m}^3$ ). Η ολική ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοαποικοδόμηση είναι μία σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχει μία εκροή αποβλήτων σε ένα τελικό υδάτινο αποδέκτη. Η πρακτική που υιοθετήθηκε είναι να μετρείται και να αναφέρεται ως αποτέλεσμα η απαίτηση οξυγόνου κατά τη διάρκεια μίας περιόδου 5 ημερών, αν και η τελική απαίτηση σε οξυγόνο είναι αρκετά μεγαλύτερη. Το BOD-πέντε ημερών ή BOD<sub>5</sub>, είναι η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τις πέντε πρώτες ημέρες της βιοαποικοδόμησης.

#### Μέθοδοι μέτρησης του BOD

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι μέτρησης του BOD ενός διαλύματος. Η κλασική μέθοδος των Αραιώσεων και η συντομότερη Μανομετρική Μέθοδος.

Η κλασική Μέθοδος των Αραιώσεων χρησιμοποιεί μια μεγάλη σειρά δειγμάτων με διαφορετικές αραιώσεις το κάθε ένα. Στο κάθε δείγμα, μετά από 5 ημέρες, μετράται η κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου στοχεύοντας να επιτευχθεί η αραιώση που θα επιτρέψει κατανάλωση μέχρι 80% - 90% του οξυγόνου που υπήρχε διαλελυμένο στο διάλυμα αρχικά.

Η Μανομετρική μέθοδος αντιθέτως, έχει μεγάλη ευελιξία διότι χρησιμοποιεί όχι μόνο το οξυγόνο που υπάρχει διαλελυμένο στο δείγμα αλλά και αυτό που υπάρχει στον αέρα πάνω από το δείγμα, μέσα στη φιάλη μέτρησης (21% v/v οξυγόνο). Η κατανάλωση του οξυγόνου μετράται μέσω της μείωσης της μερικής πίεσεως του οξυγόνου στο εσωτερικό του σφραγισμένου χώρου της μέτρησης κατά τη διάρκεια των 5 ημερών που διαρκεί η μέτρηση. Η μείωση αυτή αντανakλάται και στη συνολική πίεση των αερίων μέσα στη φιάλη της συσκευής μέτρησης. Για να αποφευχθεί η επίδραση του παραγόμενου CO<sub>2</sub> (αντίδραση (1)) στη συνολική μανομετρική πίεση του χώρου της φιάλης, η πειραματική διάταξη προβλέπει την ύπαρξη κρυστάλλων LiOH οι οποίοι απορροφούν μέσω χημικής αντιδράσεως το παραγόμενο CO<sub>2</sub>.

#### *4.3.2 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)*

Το COD είναι μία μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών ούτε από την γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο. Κατά τη μέτρηση του COD, χρησιμοποιείται ένα ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο για να οξειδώσει ποσοτικά την οργανική ύλη. Η μέθοδος μέτρησης του COD είναι αρκετά γρηγορότερη από αυτήν του BOD και διαρκεί

μόνο λίγες ώρες. Η τιμή του COD ενός αποβλήτου είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτήν του BOD. Στην περίπτωση που το σύνολο των ενώσεων του αποβλήτου είναι βιοαποικοδομήσιμες, το COD αντιπροσωπεύει την τελική απαίτηση του αποβλήτου σε οξυγόνο και παρουσιάζει ελαφρά μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που αντιστοιχεί στο BOD. Η διαφορά COD-BOD δίνει μία καλή εκτίμηση του μη βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD) προσδιορίζεται, σε mg/L ως τα mg του καταναλισκόμενου οξυγόνου ανά λίτρο δείγματος.

Οι μέθοδοι προσδιορισμού COD περιλαμβάνουν δύο στάδια:

1. της διαδικασίας οξείδωσης της οργανικής ύλης:

Για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στο δείγμα, χρησιμοποιείται ένα ισχυρά οξειδωτικό αντιδραστήριο: το διχρωμικό κάλιο. Τα οξειδώσιμα οργανικά συστατικά του δείγματος αντιδρούν, ανάγοντας το διχρωμικό ιόν ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) σε χρωμικό ( $\text{Cr}^{3+}$ ). Η οξείδωση γίνεται υπό θέρμανση (σε κατάλληλη συσκευή στους 150 °C, επί δύο ώρες) παρουσία θειικού οξέος, με καταλύτη συνήθως αργύρου και θειικού υδραργύρου. Η προσθήκη θειικού υδραργύρου δεσμεύει τα χλωριόντα που τυχόν υπάρχουν στο δείγμα.

2. της εκτέλεσης του προσδιορισμού

Υπάρχουν δύο μέθοδοι προσδιορισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθούν μετά την οξείδωση:

- i. Χρωματομετρική - φασματοφωτομετρική: Με αυτήν προσδιορίζεται η ποσότητα των ιόντων  $\text{Cr}^{6+}$  που απομένουν στο διάλυμα μετά την οξείδωση της οργανικής ύλης, φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 420 nm. Γνωρίζοντας την αρχική τους ποσότητα και αυτήν που απομένει στο διάλυμα, υπολογίζεται έμμεσα το COD που αντιστοιχεί στο δείγμα, σε mg/L. Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε δείγματα που το αναμενόμενο COD δεν είναι πολύ υψηλό (0-150 mg/L).
- ii. Για μεγαλύτερες τιμές COD, (έως 15.000 mg/L) κατά την εκτέλεση της χρωματομετρικής μεθόδου, προσδιορίζεται η ποσότητα του παραγομένου  $\text{Cr}^{3+}$ . Στην περίπτωση αυτή, ο προσδιορισμός εκτελείται σε μήκος κύματος 620 nm.

#### *4.3.3 Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC )*

Η μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα (Total Organic Carbon) είναι ενδεικτική για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων της οργανικής ύλης που ενδεχομένως υπάρχουν στο νερό, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού. Συνεπώς αποτελεί καιένα τρόπο εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του ολικού οργανικού άνθρακα πραγματοποιείται με τη βοήθεια του ανακλασιμέτρου.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Αναλυτικά όργανα

#### 5.1 Αγωγιμόμετρο

Η αγωγιμότητα, για τα διαλύματα ηλεκτρολυτών, χρησιμοποιείται ως όρος για να περιγράψουμε το πόσο εύκολα ή δύσκολα γίνεται η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος εσωτερικά του διαλύματος. Η κίνηση του ρεύματος αποδίδεται στις κινήσεις των ιόντων εσωτερικά της μάζας του διαλύματος. Κάθε διάλυμα παρουσιάζει διαφορετική αγωγιμότητα. Κάθε διάλυμα παρουσιάζει διαφορετική αγωγιμότητα, η οποία εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες σύμφωνα με τον τύπο:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

R: ηλεκτρική αντίσταση (ohm)

l: μήκος διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος (cm),

S διατομή αγωγού (cm<sup>2</sup>)

ρ: ειδική αντίσταση (ohm cm)



Εικόνα 3: Αγωγιμόμετρο τύπου mettler toledo.

Το αγωγιμόμετρο (εικόνα 3) λειτουργεί με τον εξής τρόπο:

#### Επιλογή ενός προτύπου - Βαθμονόμηση

Αρχικά θα πρέπει να γίνει επιλογή του κατάλληλου προγράμματος για την εκτέλεση της μέτρησης. Πιέζουμε το κουμπί Setup (FE30) ή πιέζουμε και κρατάμε πατημένο το Mode / πλήκτρο Setup (FG3) μέχρι το εικονίδιο εγκατάστασης να εμφανιστεί στην οθόνη και το ισχύον πρότυπο αναβοσβήνει. Χρησιμοποιώντας τα βελάκια ▲ και ▼ επιλέγετε το κατάλληλο πρότυπο και πατάμε το READ για να επιβεβαιώσουμε την επιλογή μας. Πατάμε Exit να εγκαταλείψουμε τις ρυθμίσεις λειτουργίας. Στο αγωγιμόμετρο οι πίνακες για την αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας εξαρτώνται από το πρότυπο.

Το προκαθορισμένο πρότυπο είναι το εξής:  $-1.413\mu\text{S}/\text{cm}$

#### Εκτέλεση βαθμονόμησης

Ρυθμίζουμε το αγωγιμόμετρο στις καθορισμένες τιμές προτύπου βαθμονόμησης και πατάμε Cal. Θα εμφανιστούν στην οθόνη οι σχετικές ενδείξεις που θα χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση, δηλαδή το εικονίδιο βαθμονόμησης, το εικονίδιο της μέτρησης, η τιμή της θερμοκρασίας κτλ. Εάν θέλουμε να εγκαταλείψουμε τη μέτρηση πατάμε EXIT.

#### Μέτρηση του δείγματος

Τοποθετούμε τον αισθητήρα αγωγιμότητας στο δείγμα και πατάμε READ για να ξεκινήσει η μέτρηση: το εικονίδιο μέτρησης εμφανίζεται στην οθόνη και αναβοσβήνει το δεκαδικό σημείο. Η οθόνη δείχνει την αγωγιμότητα του δείγματος. Το αυτόματο τελικό σημείο A είναι η προεπιλεγμένη ρύθμιση του μετρητή. Όταν το σήμα έχει σταθεροποιηθεί, η οθόνη παγώνει αυτόματα, και εμφανίζεται  $\sqrt{A}$ . Πατώντας και κρατώντας πατημένο το READ, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε εναλλαγή μεταξύ της αυτόματης και χειροκίνητης λειτουργίας.

Η σταθερότητα αποτελεί κριτήριο για τη μέτρηση της αγωγιμότητας. Το εσωτερικό σήμα του αισθητήρα του μετρητή μπορεί να μην αλλάξει κατά περισσότερο από 0,4% από τη μέση μετρούμενη αγωγιμότητα του ελεγχόμενου μέσα σε 6 δευτερόλεπτα.



## 5.2 Αυτόματος τιτλοδότης Orion

Η χρήση της αυτόματης τιτλοδότησης διαλυμάτων, όξινων ή βασικών, αποτελεί μια μέθοδο με πολλά πλεονεκτήματα. Με την εφαρμογή του αυτόματου τιτλοδότη πετυχαίνουμε γρηγορότερες αναλύσεις με χαρακτηριστική ακρίβεια και ιδιαίτερη επαναληψιμότητα. Αποτελείται από μία αυτόματη προχοΐδα με την οποία γίνεται η εισαγωγή του πρότυπου διαλύματος. Η ροή του γίνεται στάγδην με σταθερό ρυθμό. Ακόμα, η συσκευή διαθέτει έναν ειδικό αισθητήρα που καταλήγει στην φιάλη όπου βρίσκεται το διάλυμα ώστε να γίνεται έλεγχος της αλλαγής των τιμών pH του διαλύματος μετά την εισαγωγή πρότυπου διαλύματος. Η τιτλοδότηση συνεχίζεται αυτόματα μέχρι την μεταβολή του χρώματος του διαλύματος, λόγω του δείκτη. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται εύκολα και με ακρίβεια το τελικό σημείο και γνωρίζουμε πόση ποσότητα πρότυπου διαλύματος απαιτήθηκε.



Εικόνα 4: Αυτόματος τιτλοδότης

Ο αυτόματος τιτλοδότης αποτελείται από το μηχανικό το ηλεκτρονικό μέρος και τον εκτυπωτή. Το μηχανικό μέρος διακρίνεται στο δεξί τμήμα της φωτογραφίας, και αποτελείται από την δοσιμετρική αντλία μεγάλης ακρίβειας, τον αναδευτήρα, το ηλεκτρόδιο redox, και το ακροφύσιο εκροής (dispenser), μέσω του οποίου γίνεται η προσθήκη του τιτλοδότη στο προς ανάλυση διάλυμα.

Το ηλεκτρονικό μέρος (controller) ελέγχει την αντλία και δέχεται ηλεκτρικά σήματα. Το ηλεκτρόδιο redox στέλνει κατά τη διάρκεια της μέτρησης ηλεκτρικό σήμα προς το ηλεκτρονικό μέρος της συσκευής – controller (στο αριστερό μέρος της φωτογραφίας) το οποίο το επεξεργάζεται ανάλογα με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει από το χρήστη, και εκτυπώνει τα αποτελέσματα. Ηλεκτρικό σήμα προς το ηλεκτρονικό μέρος της συσκευής δίνει και η μηχανική αντλία, όσον αφορά τον όγκο που προστίθεται στον αναλύτη.

Ο συνδυασμός των δύο σημάτων δηλαδή του όγκου και του σήματος αποτυπώνονται στην οθόνη του controller και ταυτόχρονα στον ενσωματωμένο εκτυπωτή – printer, ο οποίος λειτουργεί με θερμικό χαρτί εκτύπωσης.

### 5.3 Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320



Εικόνα 5: Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320.

Ο θερμοαντιδραστήρας TR 320 της Merck είναι μια συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας για εργαστηριακή χρήση. Εξασφαλίζει τη χώνευση των φιαλιδίων που περιέχουν το δείγμα προς μέτρηση. Ο αντιδραστήρας έχει 8 προεπιλεγμένα προγράμματα. Επιλέγουμε αυτό που ορίζει ο κατασκευαστής για την εκάστοτε μέτρηση που θέλουμε να κάνουμε:

1. 148 °C για 120 λεπτά
2. 120 °C για 30 λεπτά
3. 120 °C για 60 λεπτά
4. 120 °C για 120 λεπτά
5. 100 °C για 60 λεπτά
6. 148 °C για 20 λεπτά
7. 150 °C για 120 λεπτά
8. 100 °C για 30 λεπτά

Ο θερμοαντιδραστήρας έχει χώρο για 12 φιαλίδια με εξωτερική διάμετρο 16 mm.

#### 5.4 Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S



Εικόνα 6: Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S.

Ο θερμοαντιδραστήρας αυτός επιτυγχάνει τη χώνευση των δειγμάτων και κατόπιν την ψύξη τους σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα από τους κλασικούς αντιδραστήρες. Έτσι εξοικονομείται χρόνος και μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερες μετρήσεις. Χρειάζεται περίπου 10 λεπτά για να προθερμανθεί ο αντιδραστήρας και περίπου 15 λεπτά για να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου (υποθέτουμε θερμοκρασία 25°C. Συνολικά απαιτούνται 35 λεπτά για μέτρηση COD, ολικού αζώτου και φωσφόρου.

Διαθέτει 12 θαλάμους χώνευσης για στρογγυλές κυψελίδες. Επίσης έχει τρία προεπιλεγμένα προγράμματα αλλά και δυνατότητα χρήσης εννέα προγραμμάτων καθορισμένων από το χρήστη.

### 5.5 Φωτόμετρο Hach DR 2010



Εικόνα 7: Φωτόμετρο Hach DR 2010.

Το παραπάνω φωτόμετρο έχει το αξιόλογο χαρακτηριστικό να είναι φορητό. Λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη μπαταρία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απ' ευθείας αναλύσεις χωρίς να απαιτείται η μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο.

Έχει εύρος μήκους κύματος 400 έως 900 nm και ακρίβεια  $\pm 2\text{nm}$  στις μετρήσεις από 400 έως 700nm, και  $\pm 3\text{nm}$  στις μετρήσεις από 700 έως 900 nm.

## 5.6 Φωτόμετρο Hack DR 2800



Εικόνα 8: ΦωτόμετροHack DR 2800.

Το παραπάνω φασματοφωτόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις σε πόσιμο νερό, σε αστικά απόβλητα, σε απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων και ποτών, σε απόβλητα χημικών βιομηχανιών αλλά και σε γενικότερες εφαρμογές της φασματομετρίας.

Το εύρος του μήκους κύματος είναι από 340 έως 900 nm. Η ακρίβεια είναι  $\pm 1,5$  nm και η αναπαραγωγιμότητα μικρότερη από 0,1nm. Μπορεί να μετρήσει περισσότερες από 50 παραμέτρους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Χημικά είδη

### **Απιονισμένο Νερό**

Σε όλα τα πειράματα και τα παρασκευασθέντα διαλύματα χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό που λήφθηκε από την στήλη αντίστροφης όσμωσης του πολυτεχνείου.

### **Διαλύματα Βαθμονόμησης**

- Ρυθμιστικά διαλύματα HannaHI 7004 pH=4 και HannaHI 7007 pH=7, για την βαθμονόμηση του αυτόματου τιτλοδότη.
- Διάλυμα βαθμονόμησης του αγωγιμόμετρου 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### **Κιταντιδραστηρίων για μέτρηση COD**

- Hach-Lange LCK 514
- Hach-Lange LCI 400
- Aqualytic 420721

### **Κιταντιδραστηρίων για μέτρηση ολικού αζώτου**

- Hach-Lange LCK 238

### **Κιταντιδραστηρίων για μέτρηση φωσφόρου**

- Hach-Lange LCK 350



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Παρασκευή και έλεγχος του συνθετικού αποβλήτου

Σκοπός μας είναι η μελέτη του συστήματος MBR. Πιο συγκεκριμένα στοχεύουμε στην δημιουργία ενεργής λάσπης η οποία να είναι όσο πιο σταθερή γίνεται, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της αλλά και των μικροβιακό πληθυσμό που θα αναπτυχθεί σε αυτήν. Επειδή τώρα θα ξεκινήσει να τίθεται σε λειτουργία πρώτη φορά ο βιοαντιδραστήρας, πρέπει να είμαστε προσεκτικοί σε κάθε μας βήμα. Για να μελετήσουμε τον βιοαντιδραστήρα, λοιπόν, θα χρησιμοποιήσουμε συνθετικό απόβλητο, για να μπορούμε να ελέγχουμε πλήρως τι περιέχει και έτσι να είμαστε σίγουροι για την πορεία του. Επίσης, καθώς δεν ξέρουμε ακόμα τα όρια του αντιδραστήρα θα ξεκινήσουμε με χαμηλές συγκεντρώσεις συστατικών. Ένα αληθινό απόβλητο θα δημιουργούσε λοιπόν προβλήματα γιατί δεν θα είχε συγκεκριμένη και ελεγχόμενη συγκέντρωση σε συστατικά που θέλουμε να «εξαλείψουμε».

Θα προσπαθήσουμε για το σκοπό αυτό να προσομοιώσουμε τα αυθεντικά απόβλητα που προέρχονται από μία τυπική αστική οικεία. Τα συστατικά θα βασίζονται στην αναμενόμενη σύνθεση ενός τυπικού αστικού αποβλήτου. Τα βασικά συστατικά που θέλουμε και που περιέχονται σε όλων των ειδών τα αστικά απόβλητα είναι άνθρακας, άζωτο και φώσφορο. Επίσης θα προσθέσουμε ίχνη μετάλλων για να προσεγγίσουμε την σύσταση του αληθινού αποβλήτου. Τα συστατικά θα πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμα και σε σχετικά χαμηλό κόστος.

Πίνακας 13: Συστατικά και συγκεντρώσεις παρασκευασθέντος συνθετικού απόβλητου.

Συστατικό	Χημικός τύπος	Συγκέντρωση
Γλυκόζη		400 mg/L
Πεπτόνη Α		50 mg/L
Πεπτόνη Β		150 mg/L
Ουρία		50 mg/L
Χλωριούχο αμμώνιο	$\text{NH}_4\text{Cl}$	50 mg/L
Θεικό αμμώνιο	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	50 mg/L
Δισόξινο φωσφορικό κάλιο	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	40 mg/L

Για τη μέτρηση των επιμέρους συστατικών ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία: Ζυγίζουμε καθένα από τα αντιδραστήρια σε ζυγό ακρίβειας 4 δεκαδικών, ενδιαφερόμενοι όμως μέχρι και το 3 δεκαδικό ψηφίο. Κατόπιν μεταφέρουμε τα αντιδραστήρια σε κομμάτι χαρτιού, καλά κλεισμένο, και τα τοποθετούμε σε γυάλινες ογκομετρικές φιάλες του 1 λίτρου. Γεμίζουμε κατόπιν τις φιάλες μέχρι τη χαραγή, με απιονισμένο νερό που έχει ληφθεί από την αντίστροφη ώσμωση του πολυτεχνείου. Κλείνουμε τα καπάκια, καλύπτουμε με πετσέτα και αναδεύουμε 20 φορές. Έπειτα αδειάζουμε το περιεχόμενο σε κοινό πλαστικό μπουκάλι και το αποθηκεύουμε εκεί, σημειώνοντας σε το περιεχόμενο και τη συγκέντρωσή του. Να σημειωθεί επίσης ότι τα πλαστικά μπουκάλια πλύθηκαν 2 φορές με νερό βρύσης και 2 φορές με απιονισμένο πριν τη χρήση τους.

Για να είμαστε σίγουροι ότι αυτή η «συνταγή» μας κάνει, πραγματοποιούμε μια σειρά μετρήσεων. Συγκεκριμένα μετράμε τη συνεισφορά του εκάστοτε συστατικού είτε σε COD, είτε σε ολικό άζωτο είτε σε φώσφορο. Έτσι θα αναμένουμε στο μείγμα μας κάποιες τιμές και θα μπορούμε να ελέγχουμε περισσότερο την κατάσταση αλλά και να ερμηνεύσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η μετρούμενη τιμή για κάθε συστατικό του αποβλήτου μας.

Πίνακας 14: Πειραματικές μετρήσεις των παραμέτρων COD, ολικού αζώτου και φωσφόρου καθώς και συγκεντρώσεις των επί μέρους συστατικών του συνθετικού αποβλήτου.

Συστατικό	Συγκέν- τρωση (mg/l)	Χημικός Τύπος	Μορια-κό Βάρος	Συγκέντρω- ση άνθρακα (mg/l), με βάση το μοριακό βάρος	COD (mg/l)	Συγκέ- ντρωση αζώτου (mg/l), με βάση το μοριακό βάρος	TN (mg/l)	Συγκέν- τρωση Φωσφόρου (mg/l), με βάση το μοριακό βάρος	P-PO <sub>4</sub> (mg/l)
Γλυκόζη	400	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .H <sub>2</sub> O	198,17	145,46	431	-	-	-	-
Πεπτόνη Α	50				58,3				
Πεπτόνη Β	150				149				
Ουρία	50	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	60,06	10,0	67,2	23,32	10	-	-
Χλωριούχο αμμώνιο	50	NH <sub>4</sub> Cl	53,49	-	-	13,09	18	-	-
Θειικό αμμώνιο	50	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132,14	-	-	10,6	17	-	-
Δισόξινο φωσφορικό κάλιο	15	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,09	-	-	-	-	3,4	5,41
Σύνολο (mg/l)	790				705,5		45		5,41

Ύστερα παρασκευάζουμε το απόβλητο σύμφωνα με τη συνταγή για να το ελέγξουμε συνολικά ως μείγμα. Μετράμε το μείγμα του αποβλήτου για COD, TN και P, pH και αγωγιμότητα. Τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 15: Μετρήσεις παρασκευασθέντος συνθετικού αποβλήτου ως προς COD, N, P.

Είδος μέτρησης	Μέθοδος	Μέτρηση 1 (mg/L)	Μέτρηση 2 (mg/L)	Μέσος Όρος (mg/L)
COD	LCI 400	683	700	691,5
COD	LCK 514	685	685	685
P	LCK 350	6,23	6,25	6,24
N	LCK 238	35,7	28,6	32,15
pH		4,0	4,2	4,1
Αγωγιμότητα		328	342	335

Ο λόγος COD:N:P είναι 691,5:32,15:6,24 ή αλλιώς 100:4,65:0,9.

Οπότε καταλήγουμε στην παρακάτω τελική «συνταγή» για το συνθετικό μας απόβλητο

Πίνακας 16: «Συνταγή» συνθετικού αποβλήτου μαζί με τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται.

Συστατικά	Συγκέντρωση σε mg/l
Γλυκόζη	400
Πεπτόνη Α	50
Πεπτόνη Β	150
Ουρία	50
Χλωριούχο αμμώνιο	50
Θειικό αμμώνιο	50
Δισόξινο φωσφορικό κάλιο	15
$\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$	0,005
$\text{H}_3\text{BO}_3$	0,005
$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	0,0008
KI	0,0001
$\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	0,0006
$\text{ZnSO}_4$	0,008
$\text{CaCl}_2$	0,01
$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	0,02

Στόχος μας είναι η επεξεργασία 400 λίτρων συνθετικού αποβλήτου τη βδομάδα. Αποφασίστηκε να παρασκευάζεται πυκνό απόβλητο ώστε να μειωθεί ο όγκος και ο χρόνος προετοιμασίας αυτού. Έτσι καταλήξαμε σε ένα απόβλητο 100 φορές πιο πυκνό για να φτιάχνουμε 4 λίτρα αποβλήτου προς χρήση κάθε εβδομάδα. Οι συνθήκες αποθήκευσης ωστόσο έχουν τεράστια σημασία για τη σταθερότητα του αποβλήτου. Ο βασικότερος «εχθρός» μας στην προσπάθεια αυτή είναι τα μικρόβια.

Πρέπει λοιπόν να δημιουργήσουμε συνθήκες που να μην ευνοούν την ανάπτυξη μικροβίων. Έτσι θα προσπαθήσουμε να βρούμε έναν εύκολο, οικονομικό και πρακτικό τρόπο για τον σκοπό αυτό. Προτάθηκε η συντήρηση μέσω ψύξης ή με πτώση του pH στο 3 με χρήση υδροχλωρικού οξέος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Συντήρηση αποβλήτου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος – Αποτελέσματα και συζήτηση

### **8.1 Συντήρηση χωρίς ρύθμιση pH σε διάρκεια μιας εβδομάδας**

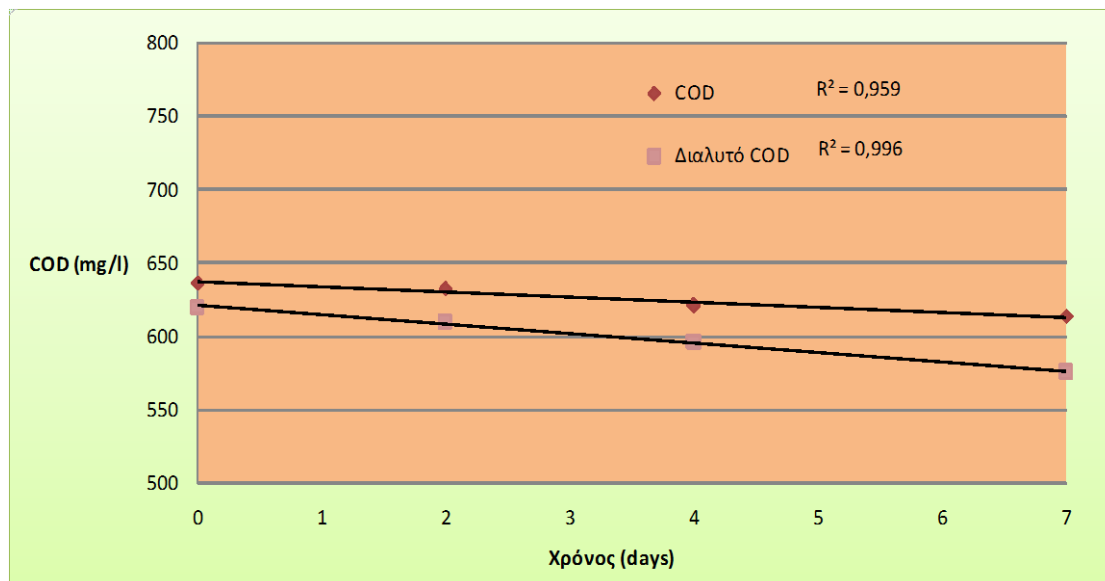
Αυτή η σειρά μετρήσεων αφορά στο μέρος του πυκνού συνθετικού αποβλήτου που αφέθηκε σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι μετρήσεις θα λειτουργήσουν σαν σημείο αναφοράς για να συγκρίνουμε τις άλλες μεθόδους καλύτερα.

Η διαδικασία της μέτρησης είναι η εξής: Αρχικά ανακινούμε καλά και προσεκτικά το μπουκάλι με το απόβλητο. Κατόπιν λαμβάνουμε με τη βοήθεια σιφωνίου εκροής και πονάρ 20 ml πυκνού συνθετικού αποβλήτου και τα τοποθετούμε σε ογκομετρικό κύλινδρο 2 λίτρων. Συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή (αραίωση 100 φορές). Αναδεύουμε εκ νεού και πραγματοποιούμε τις εκάστοτε μετρήσεις.

Για τη μέτρηση του διαλυτού COD φιλτράραμε το δείγμα μας με τη βοήθεια αντλίας, από φίλτρο 0,45μm. Όσον αφορά στις μετρήσεις αγωγιμότητας και pH αυτές έγιναν και απ' ευθείας στο πυκνό αλλά και στο αντίστοιχο αραιωμένο απόβλητο. Καθώς αυτές οι μετρήσεις είναι απλές, οικονομικές και γρήγορες αλλά επίσης μπορούν να φανούν ιδιαίτερα διαφωτιστικές.

Επίσης κάναμε τις παρακάτω οπτικές παρατηρήσεις: Κατ' αρχήν το αραιό απόβλητο είχε χρώμα σχεδόν διάφανο ενώ το πυκνό απόβλητο ήταν έντονα πράσινο. Η δημιουργία λάσπης στο πυκνό απόβλητο ήταν εμφανής από τη δεύτερη μέρα, ενώ προς το τέλος της εβδομάδας είχε σχηματιστεί πυκνό στρώμα λάσπης στον πάτο του μπουκαλιού και υπήρχε πολύ πυκνή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό δείχνει και την σημασία που δόθηκε στην καλή ανάδευση πριν την αρραίωση.

### 8.1.2 Μεταβολή COD και διαλυτού COD



Διάγραμμα 1: Πορεία COD και διαλυτού COD σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

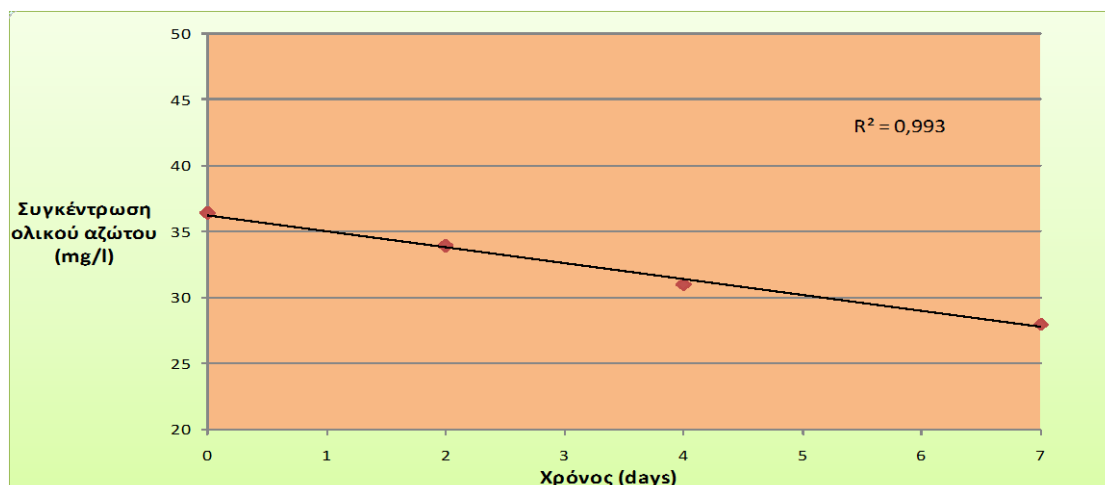
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια σαφή τάση μείωσης του COD. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να οφείλεται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στο απόβλητο οι οποίοι επιδρούν στον οργανικό άνθρακα που περιέχει. Διάφοροι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν οργανικές μορφές άνθρακα (γλυκόζη, ουρία, πεπτόνες) ως τροφή για την ανάπτυξή τους μετατρέποντάς τις σε ανόργανο άνθρακα. Ο ανόργανος άνθρακας δεν μετριέται με τη μέθοδο του COD αλλά μπορεί επίσης να φεύγει στο περιβάλλον αν περιλαμβάνεται σε πτητικές ενώσεις (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα).

Επίσης βλέπουμε ότι η κλίση της καμπύλης του διαλυτού COD είναι μεγαλύτερη, και μάλιστα μεγαλώνει με την πάροδο των ημερών. Αυτό είναι λογικό καθώς δημιουργήθηκαν σωματίδια λάσπης (βλέπε παραπάνω στις οπτικές παρατηρήσεις), τα οποία ενδεχομένως περιέχουν ποσότητα οργανικού άνθρακα. Αυτή η ποσότητα συγκρατείται από το φίλτρο οδηγώντας σε περεταίρω μείωση του μετρήσιμου COD.

Όπως έχει αναφερθεί, η δράση των μικροοργανισμών είναι ανεπιθύμητη στη φάση της συντήρησης του αποβλήτου.



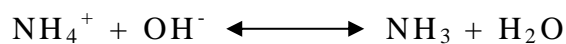
### 8.1.2 Μεταβολή ολικού αζώτου



Διάγραμμα 2: Πορεία ολικού αζώτου σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

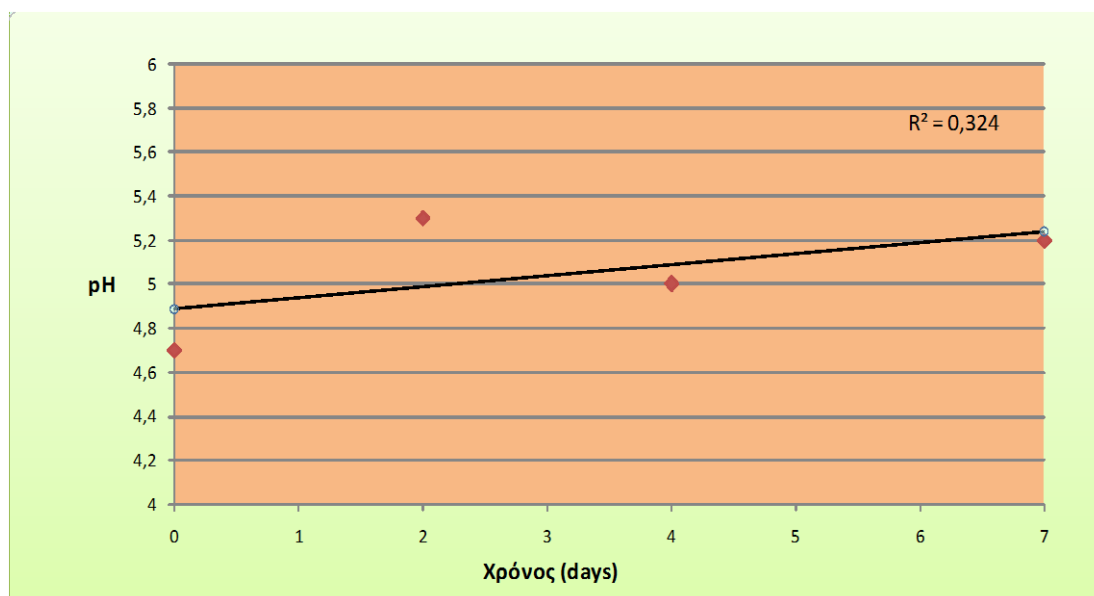
Και εδώ παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι η μεταβολή του ολικού αζώτου έχει μια ξεκάθαρη καθοδική πορεία. Και σε αυτήν την περίπτωση παίζει ρόλο η δράση των μικροοργανισμών.

Επίσης πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας την υδρόλυση της αμμωνίας σύμφωνα με την αντίδραση:

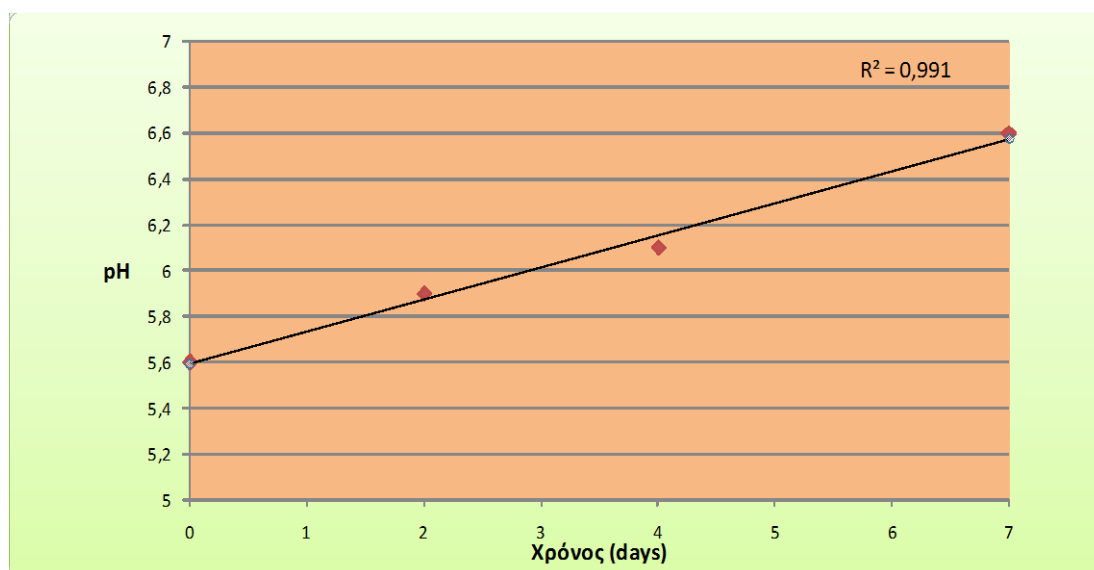


Αν η παραπάνω χημική ισορροπία στρέφεται δεξιά τότε το συνολικό άζωτο μειώνεται αφού η αμμωνία απομακρύνεται σε αέρια μορφή από το διάλυμα. Η μείωση είναι της τάξης του 20%. Μια τέτοια μείωση είναι αρκετή και ίσως αποτελέσει πρόβλημα στο αν μπορέσουμε να κρατήσουμε μια σταθερή κατάσταση μέσα στον βιοαντιδαστήρα.

### 8.1.3 Μεταβολή pH



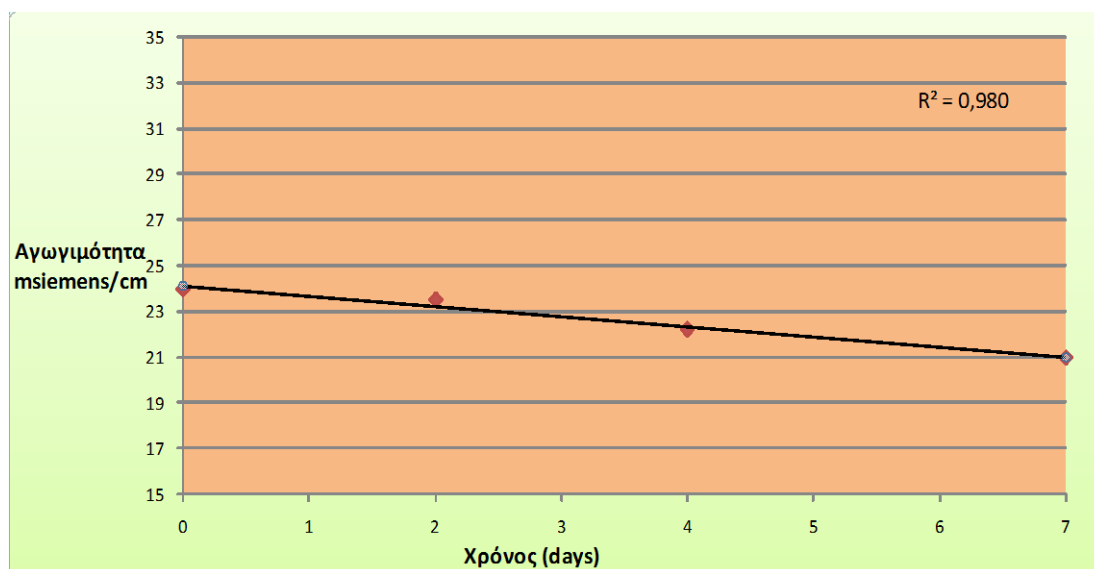
Διάγραμμα 3: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα.



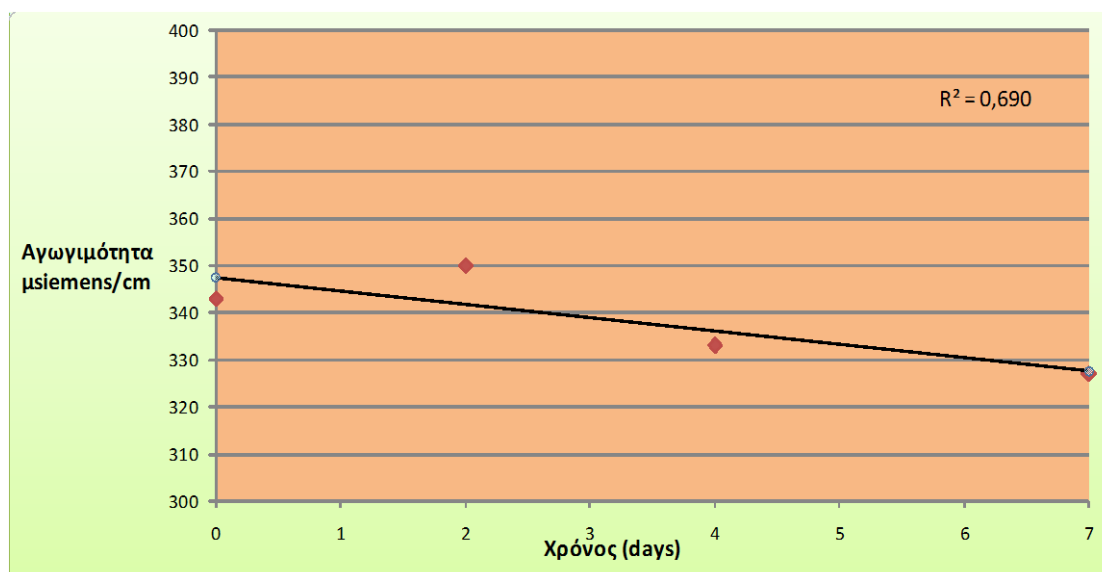
Διάγραμμα 4: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

Στα δύο παραπάνω διαγράμματα διακρίνουμε αύξηση του pH, τόσο στις μετρήσεις στο αραιό όσο και στο πυκνό απόβλητο. Η αύξηση του pH μπορεί να σημαίνει είτε την παραγωγή υδροξυλίων ( $\text{OH}^-$ ) είτε την δέσμευση πρωτονίων από διάφορες ουσίες. Η δεύτερη εξήγηση φαίνεται συμβατή και με τα 2 παρακάτω διαγράμματα όπου παρατηρείται πτώση της αγωγιμότητας. Πρακτικά αυτό σημαίνει μείωση των ιόντων του διαλύματος όπως είναι και τα  $\text{H}^+$ . Η σχετική αύξηση του pH πάντως συνάδει και με τη βιβλιογραφία<sup>[8] [10] [11]</sup>.

#### 8.1.4 Μεταβολή αγωγιμότητας



Διάγραμμα 5: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα.



Διάγραμμα 6: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

Παρατηρώντας τα 2 παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε μια σαφή τάση μείωσης της αγωγιμότητας. Ως γνωστόν το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αγωγιμότητα προκαλείται από τα διαλυμένα ιόντα μέσα σε αυτό. Επομένως μέσα στην πάροδο της εβδομάδας θα πρέπει να είχαμε μείωση των ιόντων μέσα στο διάλυμα.

Παρατηρούμε επίσης τη σύνδεση των διαγραμμάτων 3 και 5 (μετρήσεις σε πυκνά διαλύματα) και των διαγραμμάτων 4 και 6 (μετρήσεις στα αραιά διαλύματα). Τα υδρογονοκατιόντα είναι γνωστό ότι συμβάλλουν πολύ στην αύξηση της αγωγιμότητας ενός διαλύματος. Επομένως η μείωσή τους (αύξηση pH) προκαλεί μεγάλη μείωση της αγωγιμότητας.

Πάντως και η ύπαρξη μικροοργανισμών μπορεί να συνδέεται με τη μείωση των ιόντων καθώς αυτά μετατρέπονται σε ουδέτερες ενώσεις.

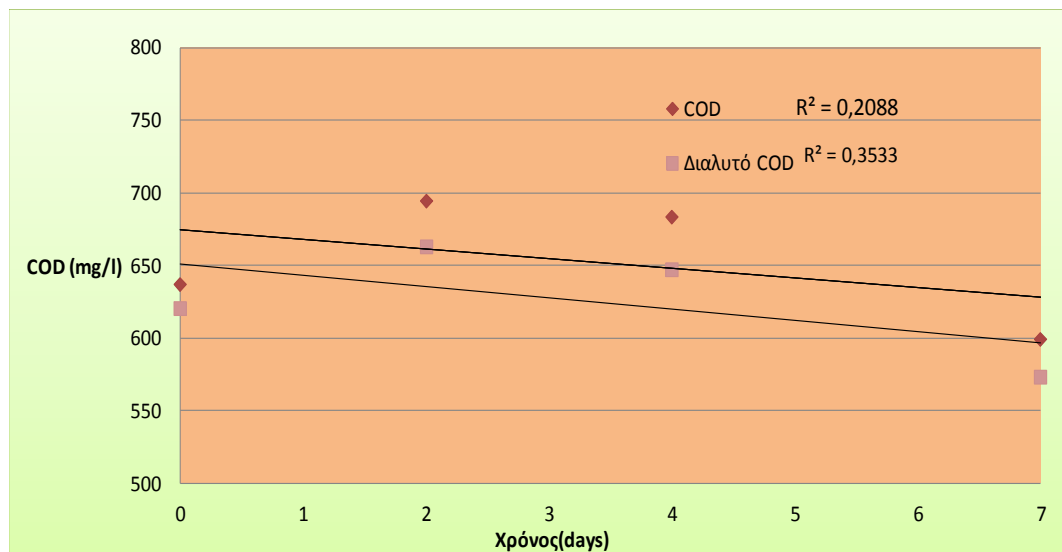
## **8.2 Συντήρηση με Αρχική Ρύθμιση $pH=3$ σε διάρκεια μιας εβδομάδας**

Η παρακάτω σειρά μετρήσεων έγινε για να ελέγξουμε την δημιουργία αλκαλικού περιβάλλοντος ως μεθόδου συντήρησης του πυκνού συνθετικού αποβλήτου. Από τα αρχικά 4 παρασκευασθέντα λίτρα αποβλήτου λοιπόν, λάβαμε 0,5 λίτρα και αφού οξυνίστικαν με υδροχλωρικό οξύ 1 M, αφέθηκαν σε πλαστικό μπουκάλι σε θερμοκρασία εργαστηρίου. Με τη βοήθεια του αυτόματου τιτλοδότη της ORION διαπιστώσαμε ότι χρειάζονται 16,3 ml υδροχλωρικού οξέος για να ρίξουμε το pH της συγκεκριμένης ποσότητας πυκνού αποβλήτου στο 3.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για τις μετρήσεις των παραμέτρων είναι η ίδια που ακολουθήθηκε παραπάνω. Και εδώ μετρήσαμε το pH και την αγωγιμότητα τόσο απ' ευθείας στο πυκνό, όσο και στο αραιό απόβλητο. Στις συγκεκριμένες μετρήσεις αυτό είχε μά επιπλέον χρησιμότητα, καθώς μπορεί να χρειαζόταν εκ νέου ρύθμιση του pH μέσα στην πάροδο της εβδομάδας. Κάτι τέτοιο τελικά δεν χρειάστηκε όπως θα φανεί στο διάγραμμα 9.

Όσον αφορά τις οπτικές παρατηρήσεις που κάναμε, χρειάστηκε να περάσουν 5 μέρες για να αρχίσει η δημιουργία της λάσπης, ενώ μετά το τέλος της εβδομάδα υπήρχε εμφανής λάσπη στον πάτο του μπουκαλιού, ενώ επίσης αιωρούνταν πράσινα συσσωματώματα που είχαν τη μορφή μύκητα.

### 8.2.1 Μεταβολή COD και διαλυτού COD

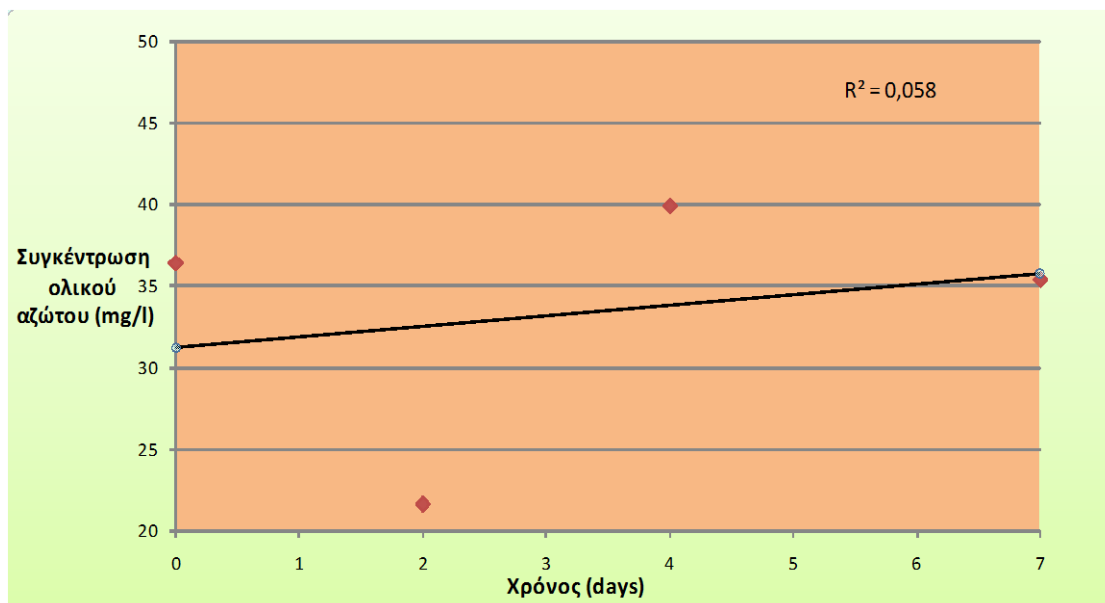


Διάγραμμα 7: Πορεία COD και διαλυτού COD σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου με αρχική ρύθμιση pH=3.

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει και αυτό καθοδική πορεία του COD. Υπάρχει κάποια μεγαλύτερη ανομοιογένεια στις μετρήσεις σε σχέση με το απόβλητο που συντηρήθηκε χωρίς ρύθμιση pH. Παρ'όλη τη συντήρηση που εφαρμόσαμε βλέπουμε και πάλι μείωση της τιμής του COD. Ισχύουν και εδώ όσα αναφέρθηκαν παραπάνω στο διάγραμμα 1.

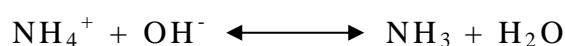


### 8.2.2 Μεταβολή ολικού αζώτου



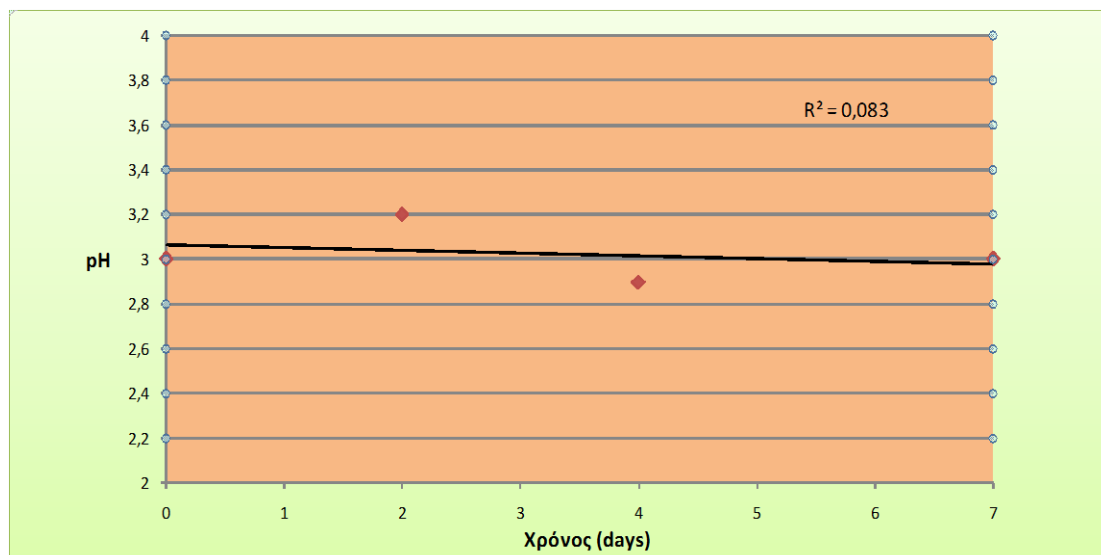
Διάγραμμα 8: Πορεία ολικού αζώτου σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου με αρχική ρύθμιση pH=3.

Και σε αυτό το διάγραμμα διακρίνουμε ανομοιογένεια και έλλειψη σταθερότητας. Πολλοί μηχανισμοί μπορούν να προκαλούν αυτή την ανομοιογένεια όπως επίσης και δράση μικροοργανισμών παρά το μειωμένο pH. Η πτώση του pH, δηλαδή ύπαρξη περισσότερων  $H^+$ , που προέρχονται από το υδροχλώριο που προστέθηκε, είναι ικανή να διαταράξει διάφορες χημικές αντιδράσεις, αλλάζοντας τις ιοντικές ισορροπίες τους. Πάντως δε μπορούμε να βγει ασφαλές συμπέρασμα. Αν δούμε ξανά την υδρόλυση της αμμωνίας:

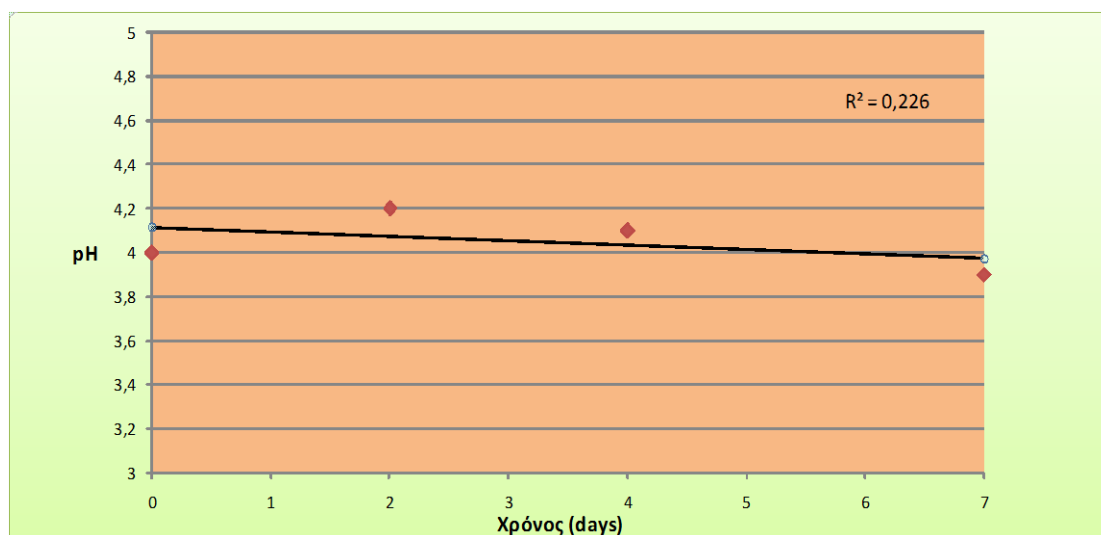


είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι η αντίδραση θα στραφεί αριστερά (λόγω της αυξημένης ποσότητας  $H^+$ ). Επομένως θα χαθεί λιγότερο άζωτο μέσω της εξάτμισης της αμμωνίας.

### 8.2.3 Μεταβολή pH



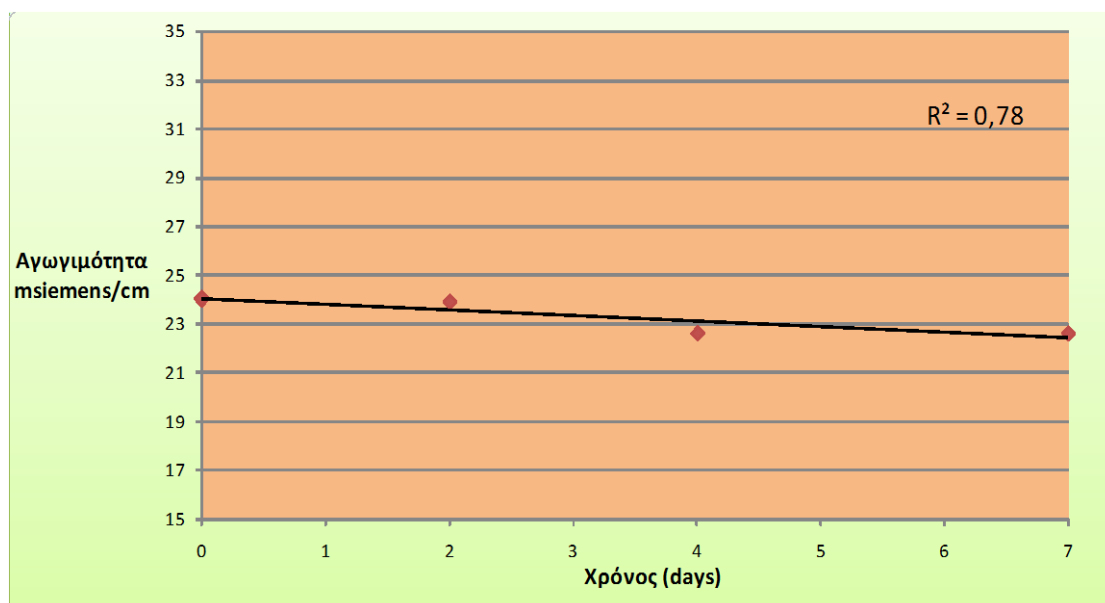
Διάγραμμα 9: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου με αρχική ρύθμιση pH=3. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα.



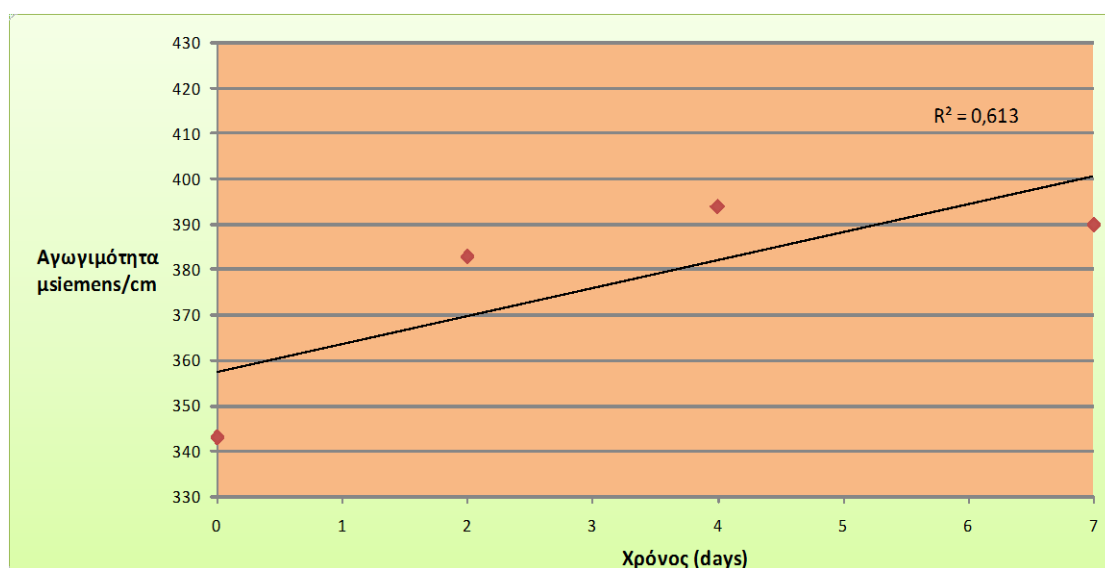
Διάγραμμα 10: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου, με αρχική ρύθμιση pH=3. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

Τα διαγράμματα μας δείχνουν ότι το pH παραμένει ιδιαίτερα σταθερό σε αυτήν την περίπτωση της συντήρησης με πτώση pH. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα βολικό, όσον αφορά ειδικά το διάγραμμα του πυκνού διαλύματος. Και αυτό διότι δεν θα χρειαστεί να μας απασχολήσει η εκ νέου ρύθμιση του pH στη διάρκεια της εβδομάδας ώστε μπορέσουμε να συντηρήσουμε το απόβλητό μας. Φαίνεται ότι η το διάλυμα κρατάει σταθερό το pH του σε αυτές τις τιμές, καθώς και στις 2 άλλες περιπτώσεις (σε θερμοκρασία εργαστηρίου και σε θερμοκρασία 4°C), με φυσιολογικές τιμές pH, παρατηρήθηκαν αυξητικές τάσεις.

#### 8.2.4 Μεταβολή Αγωγιμότητας



Διάγραμμα 11: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου με αρχική ρύθμιση pH=3. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα.



Διάγραμμα 12: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου, με αρχική ρύθμιση pH=3. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

Το διάγραμμα 11 μας δείχνει πρακτικά σταθερή αγωγιμότητα ενώ στο διάγραμμα 12 βλέπουμε μια ξεκάθαρη ανοδική πορεία. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 8.2 για αντιστρόφως ανάλογη σχέση pH και αγωγιμότητας. Βέβαια στο διάγραμμα 12 φαίνεται μεγάλη άνοδος της αγωγιμότητας, αλλά και συμφωνεί με το διάγραμμα 10. Πάντως η μεταβολή στην αγωγιμότητα πρέπει να μας προβληματίσει σε ό,τι έχει να κάνει με τη σταθερότητα του αποβλήτου με τη μέθοδο της οξύνισης, καθώς δείχνει πιθανή μικροβιακή δράση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – Συντήρηση αποβλήτου με ψύξη στους 4° C – Αποτελέσματα και συζήτηση

### ***9.1 Συντήρηση χωρίς ρύθμιση pH σε διάρκεια μιας εβδομάδας***

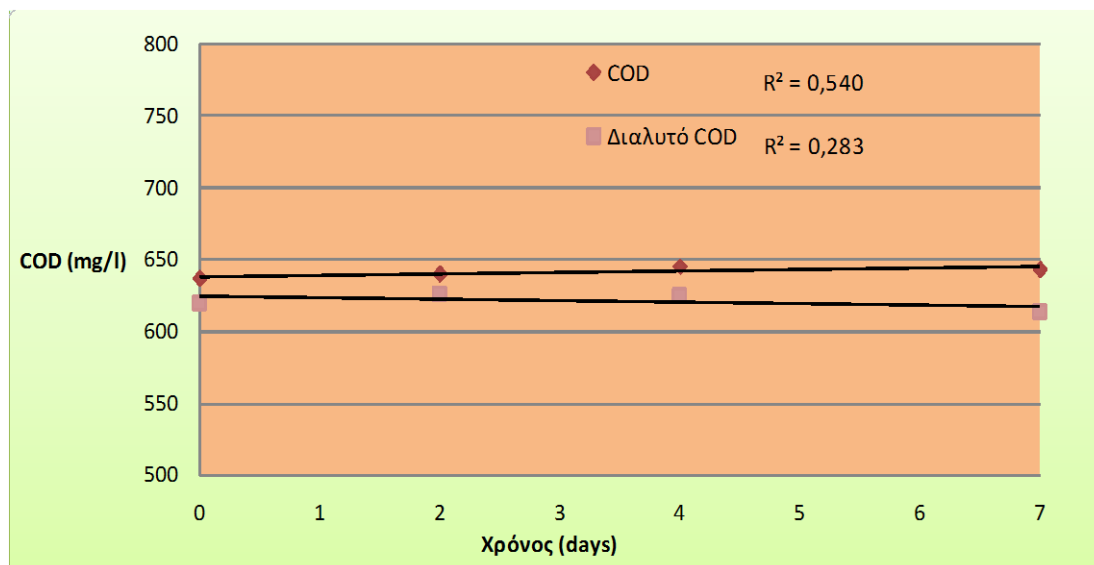
Η παρακάτω σειρά μετρήσεων έγινε για να ελέγξουμε τη μείωση της θερμοκρασίας ως μεθόδου συντήρησης του πυκνού συνθετικού αποβλήτου. Συνολικά 3 λίτρα αποβλήτου τοποθετήθηκαν στο ψυγείο το οποίο ρυθμίστηκε σε θερμοκρασία 4° C.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για τις μετρήσεις των παραμέτρων είναι η εξής: Πριν πραγματοποιηθεί η αραίωση του αποβλήτου για να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις, λήφθηκε μέρος του πυκνού αποβλήτου και τοποθετήθηκε σε θερμοκρασία εργαστηρίου για τουλάχιστον 3 ώρες. Αυτό έγινε τόσο ώστε το απόβλητο να έλθει σε φυσιολογική θερμοκρασία και οι μετρήσεις να μην επηρεαστούν από αυτήν, όσο και για να εξαφανιστούν τυχόν κρύσταλλοι που δημιουργήθηκαν. Οι κρύσταλλοι πάγου είναι δυνατόν να δεσμεύουν συστατικά του διαλύματος, με αποτέλεσμα να αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του.

Και εδώ μετρήσαμε το pH και την αγωγιμότητα τόσο απ' ευθείας στο πυκνό, όσο και στο αραιό απόβλητο.

Όσον αφορά τις οπτικές παρατηρήσεις είναι αξιόλογο πως το απόβλητο έμεινε οπτικά απaráλλαχτο και δεν παρατηρήθηκε η παραμικρή παρουσία λάσπης μέσα στο χρονικό διάστημα της μίας εβδομάδας.

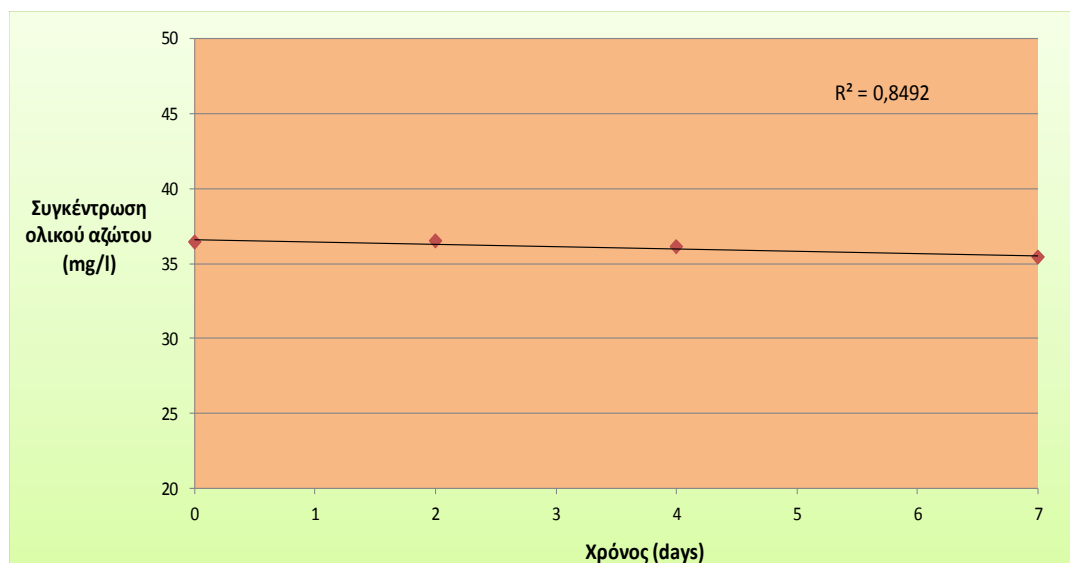
### 9.1.1 Μεταβολή COD και διαλυτού COD



Διάγραμμα 13: Πορεία COD και διαλυτού COD σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4°C και χωρίς ρύθμιση pH.

Διαπιστώνουμε μια ικανοποιητική πορεία του COD στην περίπτωση συντήρησης με ψύξη. Οι μετρήσεις είναι πολύ σταθερές κάτι που μας δείχνει ότι η μείωση της θερμοκρασίας αναστέλει τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Επίσης το ποσοστό του διαλυτού COD είναι μεγαλύτερο σε σχέση με την πορεία του COD των άλλων μεθόδων συντήρησης. Αυτό επιβεβαιώνεται και με τις οπτικές μας παρατηρήσεις, καθώς δεν υπήρξε εμφανής δημιουργία λάσπης στο απόβλητο που συντηρήθηκε στο ψυγείο.

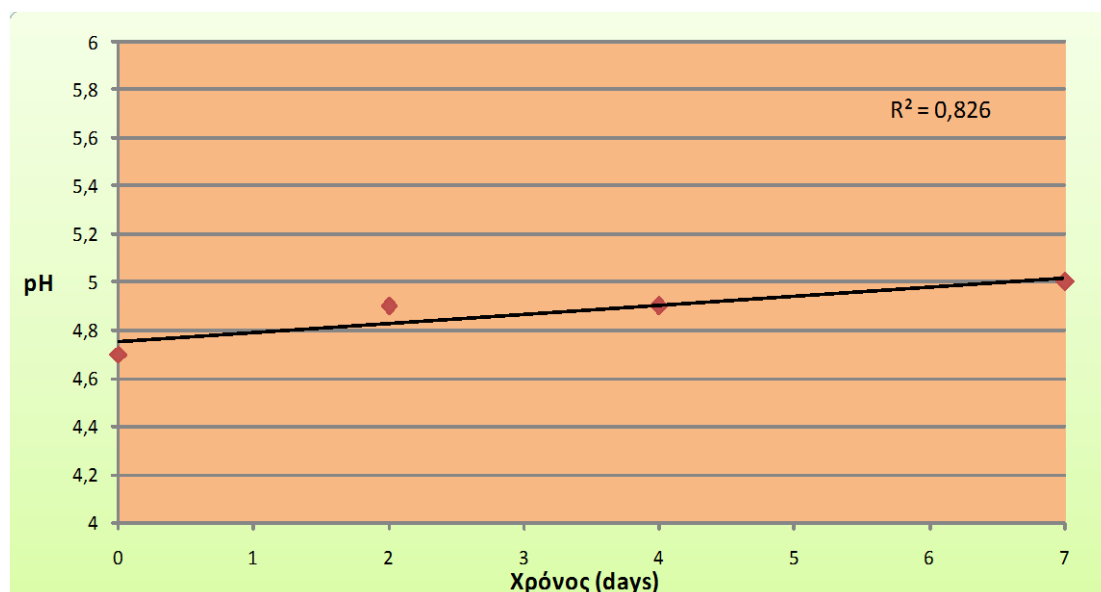
### 9.1.2 Μεταβολή ολικού αζώτου



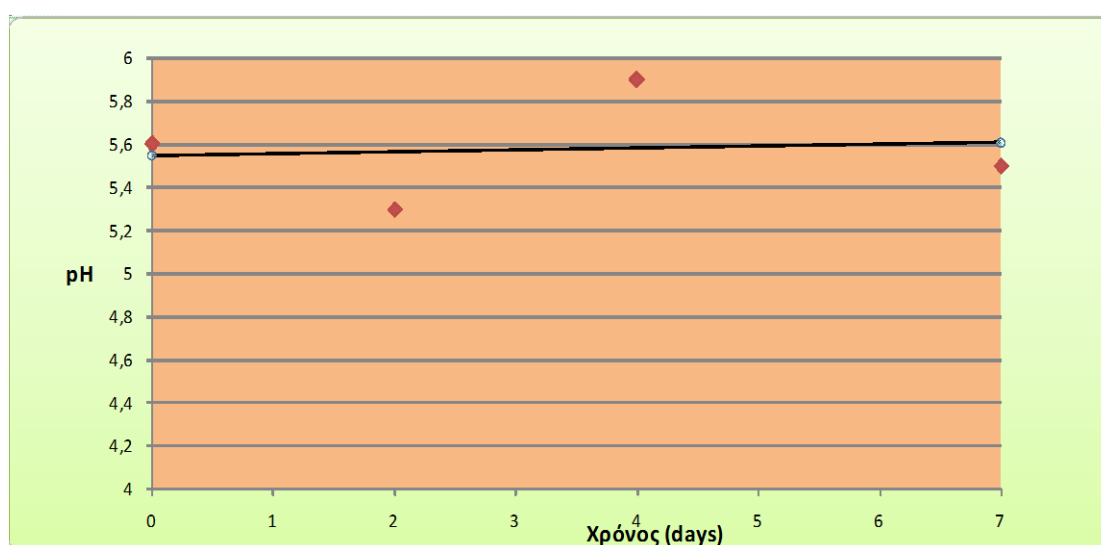
Διάγραμμα 14: Πορεία ολικού αζώτου σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4° C και χωρίς ρύθμιση pH.

Και εδώ βλέπουμε εξαιρετική σταθερότητα στη πορεία του ολικού αζώτου στην πάροδο μιας εβδομάδας. Το ολικό άζωτο είναι πολύ σημαντική παράμετρος και ενδιαφέρει πολύ το απόβλητο να έχει σταθερή συγκέντρωση αζώτου καθώς εισέρχεται στον αντιδραστήρα. Αυτό θα μας βοηθήσει αργότερα στη δημιουργία σταθερής λάσπης και ενός υγιούς μικροβιακού πληθυσμού.

### 9.1.3 Μεταβολή pH



Διάγραμμα 15: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4°C και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα.

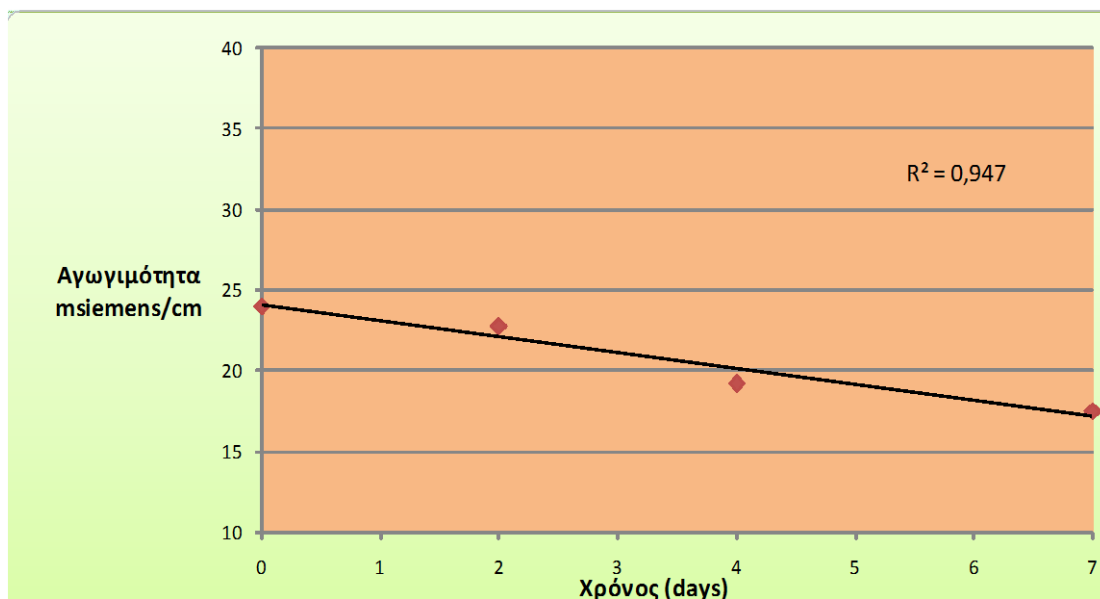


Διάγραμμα 16: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4°C και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

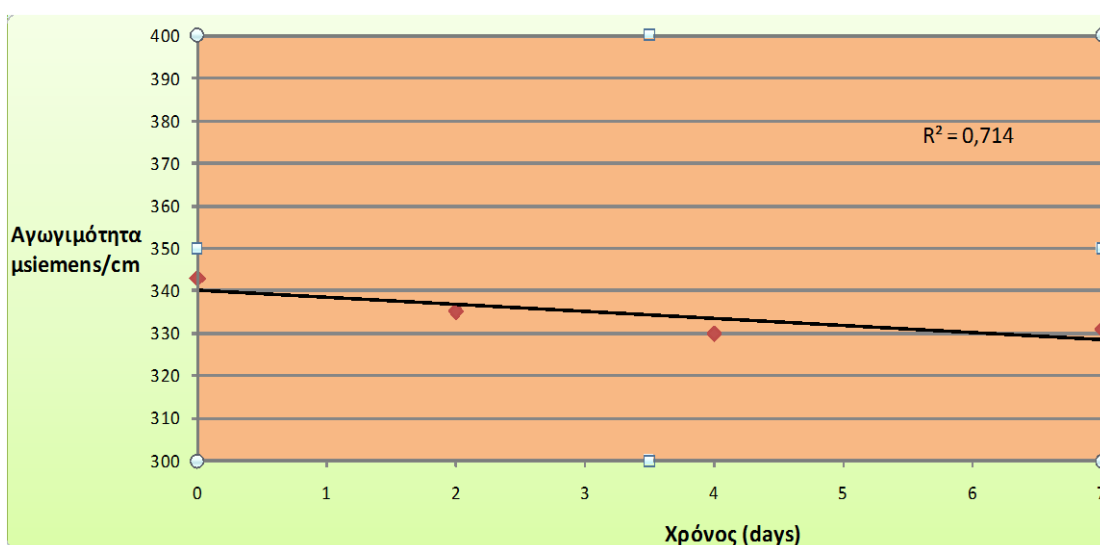


Αν και παρατηρούμε και εδώ μια σχετική αύξηση στο pH, αυτή η αύξηση είναι μικρότερη από το απόβλητο που συντηρήθηκε σε θερμοκρασία εργαστηρίου. Και εδώ επιβεβαιώνεται η καλύτερη σταθερότητα του αποβλήτου. Να σημειώσουμε ότι είναι πιθανή η αλλαγή του pH πριν την είσοδο του αποβλήτου στον αντιδραστήρα, διότι έχει σχετικά χαμηλή τιμή και ίσως δυσκολέψει τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων. Κάτι τέτοιο όμως είναι πολύ εύκολο και μπορεί να γίνει απλά με χρήση υδροξειδίου του νατρίου και χωρίς αλλαγή των άλλων παραμέτρων του αποβλήτου.

#### 9.1.4 Μεταβολή αγωγιμότητας



Διάγραμμα 17: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 40C και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα.



Διάγραμμα 18: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 40C και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα.

Και εδώ βλέπουμε μία σχετική μείωση που σχετίζεται και με την ελαφριά αύξηση του pH. Ισχύουν και εδώ αυτά που αναφέρθηκαν στα διαγράμματα 5,6,11 και 12. Πάντως και εδώ οι μεταβολές είναι μικρότερες πράγμα που μας δείχνει μεγαλύτερη σταθερότητα του αποβλήτου συντηρημένου σε χαμηλή θερμοκρασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να παρασκευαστεί ένα συνθετικό απόβλητο που να προσεγγίζει τη σύσταση ενός πραγματικού ώστε να χρησιμοποιηθεί στο πρώτο στάδιο της μελέτης, πιλοτικού βιοαντιδραστήρα MBR. Επίσης να βρεθεί ένας αποτελεσματικός τρόπος ώστε το απόβλητο αυτό να παραμένει αναλοίωτο, με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους, σε διάρκεια μίας εβδομάδας.

Στον πίνακα 17 φαίνεται εμφανώς η σταθερότητα του αποβλήτου, συντηρημένο με τη μέθοδο της ψύξης. Δεν υπάρχει εμφανής αύξηση ή μείωση του οργανικού φορτίου μέσα στην πάροδο μίας εβδομάδας που μας ενδιαφέρει. Η μέθοδος της πτώσης του pH παρουσιάζει μεγαλύτερη αστάθεια, ειδικά όσον αφορά την παράμετρο του ολικού αζώτου, κάτι που θα μπορούσε να αποβεί προβληματικό στην ακριβή περαιτέρω εξέταση της λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα. Και βέβαια βλέπουμε ότι το απόβλητο που αφέθηκε απλά σε θερμοκρασία εργαστηρίου έχει ακόμα χειρότερη συμπεριφορά σε όρους ολικού αζώτου. Να σημειωθεί επίσης ότι οι μετρήσεις έγιναν την περίοδο της Άνοιξης, κάτι που μας εξασφαλίζει σίγουρη απόδοση κατά τους χειμερινούς μήνες αλλά ίσως υπάρχει πρόβλημα σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών.

Περαιτέρω μελέτες μπορούν να γίνουν για την αποτελεσματικότητα των μεθόδων αυτών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αλλά και με συνδιασμό αυτών. Επίσης μένει να ερευνηθεί κατά πόσο τα συνθετικά απόβλητα έχουν ίδιες ιδιότητες με τα πραγματικά, όσον αφορά την μετέπειτα επεξεργασία τους, και σε ποιο βαθμό.

Πίνακας 17: % Μεταβολές των παραμέτρων σε διάρκεια μίας εβδομάδας, ανάλογα με τη μέθοδο συντήρησης.

	% Μεταβολή pH	% Μεταβολή Αγωγιμότητας	% Μεταβολή Ολικού Αζώτου	% Μεταβολή COD	% Μεταβολή COD Soluble
Συντήρηση σε θερμοκρασία	+17,5	-5,7	-23,4	-3,8	-9,32
Συντήρηση pH=3	-3,4	+12,0	+14,5	-6,9	-10,5
Συντήρηση με ψύξη (T=4°C)	-1,01	-3,4	-2,9	+1,05	-3,35

## Βιβλιογραφία

- [1] Jongerden, Joost, dams and politics in Turkey: Utilizing water, developing conflict, middle east policy, volume 17, 2010.
- [2] Νταρακάς Ευθύμιος, Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, Θεσσαλονίκη 2010.
- [3] Metcalf and Eddy, Wastewater engineering, third edition, 1991.
- [4] Μαθήματα εκπαίδευσης για την αειφορία, Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, 1/10/2012.
- [5] Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις, ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011.
- [6] Boeije G, Chemical fate prediction for use in geo – referenced environmental exposure assessment, 1999.
- [7] Thongchai P. et al, Effect of temperature shock on activities of phosphorus – accumulating organisms, 2003.
- [8] Malandra et al, evaluation of a rotating biological contactor for biological treatment of winery effluent, 2000.
- [9] Ingmar Nopens et al, Stability analysis of a synthetic municipal wastewater, July 2001.
- [10] Glen T. Daigger, Membrane Bio-Reactors (MBRs) – The future of wastewater technology, science and economy aspects, Presented at EFCA 2005 General Assembly Meeting & Conference, Krakow, Poland, 30 May 2005.
- [11] Xiufen Li et al, Treatment of synthetic wastewater by a novel MBR with granular sludge developed for controlling membrane fouling, 2004.
- [12] S.M.S.M.K Samarakoon, Development of an aerobic membrane bioreactor for small scale domestic wastewater treatment in tropical regions, Asian Institute of Technology, May 2005.
- [13] Mogens Henze and Yves Comeau, Wastewater Characterization.
- [14] Hollow fiber vs flat sheet technology, a case study, presented by Samer K. Mazloum.

## Παράρτημα Α – Πίνακες

Πίνακας Α: Μετρήσεις COD και διαλυτού COD, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις .

Τρόπος Συντηρησης	Ψύξη σε θερμοκρασία 4°C		Πτώση σε pH=3		Τεργαστηριου	
Χρόνος (Ημέρες)	COD(mg/l)	CODs(mg/l)	COD(mg/l)	CODs(mg/l)	COD(mg/l)	CODs(mg/l)
0	637	620	637	620	637	620
2	640	626	694	663	633	610
4	646	625	683	647	621	596
7	643	614	599	573	614	576
Μέσος Όρος	641,5+-6,7	625,5+_16,3	653,25 +-75,8	630+-68,4	626,25 +-18,4	604,75+-24,6

Πίνακας Β: Μετρήσεις ολικού αζώτου, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις .

Τρόπος Συντηρησης	Ψύξη σε θερμοκρασία 4°C	Πτώση σε pH=3	Τεργαστηριου
Χρόνος (Ημέρες)	TN	TN	TN
0	36,4	36,4	36,4
2	36,5	21,6	33,9
4	36,1	39,9	31,0
7	35,4	35,4	28,0
Μέσος Όρος	36,1+-0,86	33,325+-13,9	32,325+-6,3

Πίνακας Γ: Μετρήσεις αγωγιμότητας, στο πυκνό και στο αραιό απόβλητο, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις.

Τρόπος Συντηρησης	Ψύξη σε θερμοκρασία 4°C		Πτώση σε pH=3		Τεργαστηρίου	
Χρόνος (Ημέρες)	Αγωγιμότητα στο πυκνό διάλυμα(ms/cm)	Αγωγιμότητα στο αντίστοιχο αραιό διάλυμα(μs/cm)	Αγωγιμότητα στο πυκνό διάλυμα(ms/cm)	Αγωγιμότητα στο αντίστοιχο αραιό διάλυμα(μs/cm)	Αγωγιμότητα στο πυκνό διάλυμα(ms/cm)	Αγωγιμότητα στο αντίστοιχο αραιό διάλυμα(μs/cm)
0	24	343	24	343	24	343
2	22,8	335	23,9	383	23,5	350
4	19,2	330	22,6	394	22,2	333
7	17,5	331	22,6	390	21	327
Μέσος Όρος	20,875+-5,3	334,75+-10,2	23,275+-1,35	377,5+-1,3	22,675+-2,3	338,25+-17,7

Πίνακας Δ: Μετρήσεις pH στο πυκνό και στο αραιό απόβλητο, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις.

Τρόπος Συντηρησης	Ψύξη σε θερμοκρασία 4°C		Πτώση σε pH=3		Τεργαστηρίου	
Χρόνος (Ημέρες)	pH στο πυκνό διάλυμα	pH στο αντίστοιχο αραιό διάλυμα	pH στο πυκνό διάλυμα	pH στο αντίστοιχο αραιό διάλυμα	pH στο πυκνό διάλυμα	pH στο αντίστοιχο αραιό διάλυμα
0	4,7	5,6	3	4	4,7	5,6
2	4,9	5,3	3,2	4,2	5,3	5,9
4	4,9	5,9	2,9	4,1	5	6,1
7	5	5,5	3	3,9	5,2	6,6
Μέσος Όρος	4,875+-0,22	5,575+-0,43	3,025+-0,22	4,05+-0,22	5,05+-0,46	6,05+-0,73

Πίνακας Ε: Ημερολογιακή καταγραφή των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν μαζί με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε.

<i>Είδος Μετρήσης</i>	<i>Μέθοδος</i>	<i>Ημερ/νία</i>	<i>Μέρες Αποθήκευσης</i>	<i>Τρόπος Συντήρησης</i>	<i>Αποτέλεσμα</i>
<b>COD</b>	LCI 400	09/04	1	Ψύξη	683
<b>COD</b>	LCI 400	09/04	1	Εργαστήριο	700
<b>COD</b>	LCK 514	09/04	1	Ψύξη	685
<b>COD</b>	LCK 514	09/04	1	Εργαστήριο	685
<b>P</b>	LCK 350	09/04	1	Ψύξη	20,9
<b>P</b>	LCK 350	09/04	1	Εργαστήριο	18,4
<b>TN</b>	LCK 238	09/04	1	Ψύξη	35,7
<b>TN</b>	LCK 238	09/04	1	Εργαστήριο	28,6
<b>Αγωγιμότητα</b>		09/04	1	?	341 μS/cm
<b>COD</b>	LCI 400	11/04	3	Ψύξη	731
<b>COD</b>	LCK 514	11/04	3	Ψύξη	646
<b>COD</b>	LCI 400	11/04	3	Εργαστήριο	642
<b>COD</b>	LCK 514	11/04	3	Εργαστήριο	618
<b>COD</b>	Merck	11/04	3	Εργαστήριο	660
<b>COD</b>	Hack	11/04	3	Εργαστήριο	644
<b>COD</b>	Aqualytic	11/04	3	Εργαστήριο	638
<b>COD</b>	LCK 514	15/04	7	Εργαστήριο	524
<b>COD</b>	LCK 514	15/04	7	Ψύξη	606
<b>COD soluble</b>	LCK 514	15/04	7	Εργαστήριο	531
<b>COD</b>	Aqualytic	15/04	7	Εργαστήριο	555
<b>COD</b>	Aqualytic	15/04	7	Ψύξη	635
<b>COD</b>	Merck	15/04	7	Εργαστήριο	550
<b>COD</b>	Merck	15/04	7	Ψύξη	621
<b>COD</b>	Hack	15/04	7	Εργαστήριο	600
<b>COD</b>	Hack	15/04	7	Ψύξη	636
<b>COD</b>	LCI 400	22/04	0	-	637
<b>TN</b>	LCK 238	22/04	0	-	36,4
<b>P</b>	LCK 350	22/04	0	-	6,23
<b>Αγωγιμότητα</b>		22/04	0	-	343 μS/cm
<b>pH</b>		22/04	0	-	4,7
<b>COD</b>	Merck	24/04	2	Εργαστήριο	633
<b>COD soluble</b>	Merck	24/04	2	Εργαστήριο	615



<b>COD soluble</b>	LCK 514	24/04	2	Εργαστήριο	605
<b>COD</b>	Merck	24/04	2	pH=3	694
<b>COD</b>	Merck	24/04	2	Ψύξη	640
<b>TN</b>	LCK 238	24/04	2	Εργαστήριο	33,9
<b>TN</b>	LCK 238	24/04	2	pH=3	21,6
<b>TN</b>	LCK 238	24/04	2	Ψύξη	36,5
<b>COD</b>	Aqualytic	26/04	4	Εργαστήριο	621
<b>COD soluble</b>	Aqualytic	26/04	4	Εργαστήριο	596
<b>COD</b>	Aqualytic	26/04	4	pH=3	683
<b>COD soluble</b>	Aqualytic	26/04	4	pH=3	647
<b>COD</b>	Aqualytic	26/04	4	Ψύξη	646
<b>COD soluble</b>	Aqualytic	26/04	4	Ψύξη	625
<b>TN</b>	LCK 238	26/04	4	Εργαστήριο	31
<b>TN</b>	LCK 238	26/04	4	pH=3	39,9
<b>TN</b>	LCK 238	26/04	4	Ψύξη	36,1
<b>P</b>	LCK 350	26/04	4	Εργαστήριο	5,82
<b>P</b>	LCK 350	26/04	4	pH=3	5,83
<b>COD</b>	LCK 514	29/04	7	Εργαστήριο	614
<b>COD soluble</b>	LCI 400	29/04	7	Εργαστήριο	576
<b>COD</b>	LCK 514	29/04	7	pH=3	599
<b>COD soluble</b>	LCI 400	29/04	7	pH=3	573
<b>COD</b>	LCK 514	29/04	7	Ψύξη	643
<b>COD soluble</b>	LCI 400	29/04	7	Ψύξη	614
<b>TN</b>	LCK 238	29/04	7	Εργαστήριο	28
<b>TN</b>	LCK 238	29/04	7	pH=3	35,4
<b>TN</b>	LCK 238	29/04	7	Ψύξη	35,4

## Παράρτημα Β – Περιεχόμενα πινάκων και διαγραμμάτων

### Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Ρύπανση και μόλυνση νερού <sup>[3]</sup> .....	10
Πίνακας 2: Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων (mg/l) <sup>[4]</sup> .....	14
Πίνακας 3: Σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας <sup>[5]</sup> .....	14
Πίνακας 4: Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων. ....	29
Πίνακας 5: Όρια για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού. ....	32
Πίνακας 6: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση. ....	33
Πίνακας 7: Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις. ....	34
Πίνακας 8: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σε επεξεργασμένα λύματα για: α) αστική επαναχρησιμοποίηση, β) περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, γ) βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση και δ) τροφοδότηση - εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.....	35
Πίνακας 9: Συνταγή συνθετικού απόβλητου. <sup>[8]</sup> .....	38
Πίνακας 10: Συστατικά συνθετικού αποβλήτου. <sup>[9]</sup> .....	39
Πίνακας 11: Συστατικά συνθετικού απόβλητου. ....	39
Πίνακας 12: Συστατικά συνθετικού απόβλητου. <sup>[10]</sup> .....	40
Πίνακας 13: Συστατικά και συγκεντρώσεις παρασκευασθέντος συνθετικού απόβλητου. ....	60
Πίνακας 14: Πειραματικές μετρήσεις των παραμέτρων COD, ολικού αζώτου και φωσφόρου καθώς και συγκεντρώσεις των επί μέρους συστατικών του συνθετικού αποβλήτου. ....	61
Πίνακας 15: Μετρήσεις παρασκευασθέντος συνθετικού αποβλήτου ως προς COD, N, P. ....	61
Πίνακας 16: «Συνταγή» συνθετικού αποβλήτου μαζί με τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται.....	62
Πίνακας 17: % Μεταβολές των παραμέτρων σε διάρκεια μίας εβδομάδας, ανάλογα με τη μέθοδο συντήρησης. ....	81

## Περιέχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Πορεία COD και διαλυτού COD σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα. ....	64
Διάγραμμα 3: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα. ....	66
Διάγραμμα 4: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα. ....	66
Διάγραμμα 5: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα. ....	68
Διάγραμμα 7: Πορεία COD και διαλυτού COD σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου με αρχική ρύθμιση pH=3. ....	71
Διάγραμμα 12: Πορεία αγωγιμότητας σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία εργαστηρίου, με αρχική ρύθμιση pH=3. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα. ....	74
Διάγραμμα 13: Πορεία COD και διαλυτού COD σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4°C και χωρίς ρύθμιση pH. ....	76
Διάγραμμα 15: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4°C και χωρίς ρύθμιση pH. Απ' ευθείας μετρήσεις στο πυκνό διάλυμα. ....	78
Διάγραμμα 16: Πορεία pH σε συνθετικό απόβλητο συντηρημένο σε θερμοκρασία 4°C και χωρίς ρύθμιση pH. Μετρήσεις στο αντίστοιχο αραιωμένο διάλυμα. ....	78